

Tien melusteiden suunnittelu

30.9.2010

Tien melusteiden suunnittelu

30.9.2010

Liikenneviraston ohjeita 16/2010

Liikennevirasto
Helsinki 2010

Kannen kuvat: Liikennevirasto

ISSN-L 1798-663X
ISSN 1798-663X
ISBN 978-952-255-563-2

Verkkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-663X
ISSN 1798-6648
ISBN 978-952-255-564-9

Kopijyvä Oy
Kuopio 2010

Julkaisua (myy)/saatavana
paino.kuopio@kopijyva.fi

Liikennevirasto
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelin 020 637 373

Tieosasto

Vastaanottaja
ELY-keskusten L-vastuualue, Liikennevirasto, Investoinnit

Säädösperusta
Maantielaki 109 §

Korvaa
Tien melusteiden suunnittelu, luonnos 9.12.2009

Kohdistuvuus
Maanteiden tienpito

Voimassa
1.11.2010 - toistaiseksi

Asiasanat
Melusteet, laatuvaatimukset, suunnittelu, meluntorjunta, maantiet

Tien melusteiden suunnittelu 30.9.2010

Tätä julkaisua käytetään ohjeena suunniteltaessa maanteiden meluntorjuntaa ja melusteitä. Julkaisu sisältää myös melustetuotteiden yleiset laatuvaatimukset ja ohjeet niiden hankekohtaiseen tarkentamiseen.

Ohje sisältää: perustietoja meluntorjunnasta, melulaskentojen vähimmäisvaatimukset, esimerkkejä meluntorjuntakeinoista, melusteiden sijainnin ja korkeuden suunnitteluperusteet, melusteiden rakenteen ja perustusten laatuvaatimukset, erilaisten puumateriaalien oletettu laskennallinen kestoikä, melustetuotteita koskevien SFS-EN-standardien soveltamisohjeet ja melusteen hankintavaihtoehdot.

Melusteissa käytettävien rakennusmateriaalien ja asennustarkkuuden laatuvaatimukset on esitetty InfraRYL2006:ssa sekä melustetuotteiden valmistajien asennusohjeissa.

Ohjetta voidaan käyttää laatuvaatimuksena myös urakassa, johon kuuluu melusteen suunnittelu sekä toimeksiannoissa, joissa tehdään hankekohtaisia melulaskelmia.

Tie- ja siltatekniikka vastuualueen johtaja


Matti Piispanen

Tietekniikkayksikön päällikkö


Kari Lehtonen

TIEDOKSI

Suomen kuntaliitto
Rakennusteollisuus RT
Infra ry
Liikenneviraston osastot
SKOL
YM
LVM
Kirjasto
Lehtonen

Esipuhe

Tämä melusteen suunnitteluohjeen 9.12.2009 versio on tehty konsulttityönä WSP Finland Oy:ssä. Konsultin työryhmään kuuluivat Ilkka Niskanen (projektipäällikkö), Ville Alatyppö, Liisa Ilveskorpi, Mikko Rikala, Mikko Alanko, Simo Rautajärvi ja Kari Pere.

Työn ohjausryhmään ovat kuuluneet Tiehallinnosta Kari Lehtonen (puheenjohtaja), Tuula Säämänen, Pekka Hirvonen, Arto Kärkkäinen ja Heikki Koski. Muut ohjausryhmän asiantuntijat olivat Erkki Poikolainen Ratahallintokeskuksesta ja Jarkko Karttunen Helsingin kaupungin rakennusvirastosta.

Ohjeesta saatu lausuntoja meluste- ja materiaalivalmistajilta.

Suurimmat muutokset ja lisäykset verrattuna ohjeisiin Melusteet ja Puun käyttö melusteissa koskevat seuraavia kohtia:

- Melua vähentävät päällysteet (2.3.3) on lisätty
- Melulaskentojen laatuvaatimukset (2.5) on lisätty
- Kivikorien käyttö (3.3) on lisätty
- Melukaiteen laatuvaatimukset (3.5) on täsmennetty
- Melusteen arkkitehtuuri (4.3) on käsitelty laajemmin
- Melusteen jännemitan vaikutus kustannuksiin (4.4)
- SFS-EN-standardien soveltaminen (5.1 ja 5.4) on tarkistettu
- Perustusten suunnittelukriteerit (5.2.9) ovat muuttuneet
- Puuhun liittyvät erityiskysymykset (5.3) on tarkistettu
- Meluseinän ominaisuuksien osoittaminen (5.4) on lisätty.

9.12.2009 julkaistuun luonnokseen verrattuna muutokset ovat:

- Standardien SFS-EN 1793-5 ja -6 käyttöä on täsmennetty
- Meluseinän mitoituksessa käytettävä vertailutuulennopeus on 21 m/s, kun 9.12.2009 se oli 23 m/s.
- Meluseinän perustusten siirtymärajoja on muutettu.
- Melukaiteen törmäyskestävyysvaatimuksia on muutettu.
- Meluseinän rimoitukselle on lisätty auraukkestävyyttä koskeva vaatimus.

Muutokset on tehnyt Kari Lehtonen saatuaan lausunnon valmistajilta ja Liikenneviraston Rautatieosastolta ja Liikennejärjestelmäosastolta.

Helsingissä syyskuussa 2010

Liikennevirasto
Tieosasto

Sisältö

1	YLEISTÄ	8
2	MELUNTORJUNNAN TARVE JA KEINOT	8
2.1	Meluntorjunnan tarve	8
2.2	Meluntorjunnan kustannusten jako	10
2.3	Meluntorjunnan vaihtoehtoja	11
2.3.1	Tiesuunnittelu ja kaavoitus	11
2.3.2	Liikennemäärä ja ajonopeus.....	12
2.3.3	Melua vaimentavat asfalttipäällysteet	13
2.3.4	Rakennuksiin kohdistuvat toimenpiteet	13
2.4	Meluste asukkaiden ja tien käyttäjien kannalta	14
2.5	Melunlaskentamenetelmät ja niiden käyttötapaukset	15
2.5.1	Melulaskennan laatuvaatimukset.....	15
2.5.2	Laskentatuloksiin tehtävät korjaukset	16
2.5.3	Tulosten dokumentointi	17
3	MELUESTEEN PERUSVAIHTOEHDOT.....	18
3.1	Meluvalli.....	18
3.2	Kivikorit meluseinänä tai vallina	20
3.3	Meluvallin ja -seinän yhdistelmä	21
3.4	Meluseinät	22
3.5	Melukaide.....	24
3.6	Läpinäkyvät melusteet	26
4	MELUESTEEN SUUNNITTELUN PERUSTEET	28
4.1	Melusteen sijoittaminen ja korkeus	28
4.1.1	Etäisyys tien reunasta	28
4.1.2	Melusteen pituus ja korkeus.....	29
4.1.3	Melusteen aloitus ja aukot.....	36
4.1.4	Meluste sillalla	38
4.1.5	Muut sijaintiin vaikuttavat asiat	40
4.1.6	Ilkivalta, töhryt ja niiltä suojautuminen	41
4.2	Melusteen arkkitehtuuri ja sovittaminen ympäristöön	44
4.2.1	Melusteen arkkitehti- ja ympäristösuunnittelu eri suunnitteluvaiheissa	44
4.2.2	Melusteen sovittaminen kaupunkikuvaan ja ympäristöön	44
4.2.3	Melustetyypin ja arkkitehtuurin valintakriteerit.....	46
4.2.4	Yksityiskohtien merkitys arkkitehtuurissa	47
4.2.5	Maiseman ja kasvillisuuden suunnittelu	51
4.3	Melusteen runkomateriaalin ja jännemitan vaikutukset kustannuksiin	54
5	LAATUVAATIMUKSET	56
5.1	Akustiset laatuvaatimukset	56
5.1.1	Vaimennus ja eristävyys.....	56
5.1.2	Eristävyysluku DL_R	58
5.1.3	Diffraktio	60
5.1.4	Absorptio.....	60
5.2	Rakenteen laatuvaatimukset	64
5.2.1	Yleistä	64

5.2.2	Tuulikuorma ja oma paino.....	64
5.2.3	Aurauslumikuorma.....	66
5.2.4	Materiaalit, päästöt ja hävittäminen.....	67
5.2.5	Ajoneuvon törmäys.....	67
5.2.6	Liikennealueelta poistuminen erikois- ja hätätilanteessa.....	67
5.2.7	Pilarien sijaintitarkkuus.....	68
5.2.8	Perustusten laatuvaatimukset.....	68
5.2.9	Materiaalien yleiset laatuvaatimukset.....	70
5.2.10	Palonarkuus.....	70
5.2.11	Läpinäkyvien materiaalien valintaperusteet ja vaatimukset.....	70
5.2.12	Iskunkestävyys ja osien putoaminen.....	72
5.2.13	Muoviverhoukset.....	73
5.2.14	Kestoiäkä.....	74
5.3	Puuhun liittyvät erityiskysymykset.....	74
5.3.1	Puun kestoiän arviointi.....	74
5.3.2	Rakenteellinen puunsuojaus.....	76
5.3.3	Kyllästetty puu.....	78
5.3.4	Kyllästysainetta koskevat merkinnät.....	78
5.3.5	Vaneri.....	78
5.3.6	Lämpökäsitelty puu.....	80
5.3.7	Puu-muovikomposiitti.....	80
5.3.8	Maalaus.....	82
5.4	Meluseinän ominaisuuksien osoittaminen.....	84
5.4.1	Meluestetuotteista valmistettu meluseinä.....	84
5.4.2	Muista rakennustuotteista valmistettu meluseinä.....	85
5.5	Ylläpidon erityiskysymykset.....	85
6	MELUESTEEN RAKENNUTTAMINEN.....	86

1 Yleistä

Meluntorjunnan tarvetta ja erilaisten meluntorjuntakeinojen soveltuvuutta käsitellään luvuissa 2 ja 3. Luvussa 2.5 on käsitelty melulaskelmien laatuvaatimuksia. Melukaiteita on käsitelty luvussa 3.5.

Meluseinällä saavutettavasta vaimennuksesta on esimerkkejä luvussa 4. Luvussa esitetään myös seinän sijoittamisen ja ulkonäön suunnittelun periaatteita.

Seinän akustisten ominaisuuksien ja rakenteen laatuvaatimukset on esitetty luvussa 5. Hankintaa on käsitelty luvussa 6.

2 Meluntorjunnan tarve ja keinot

2.1 Meluntorjunnan tarve

Meluntorjunnan tarpeellisuuden arvioinnissa selvitetään seuraavat asiat:

- Kuinka paljon on melulle altistuvia asukkaita (eritoten yli 60-65 dB melualueella)
- Keihin melu kohdistuu?
- Kuinka voimakas meluhaitta on?
- Mitä meluntorjunnan keinoja on käytettävissä?
- Kuinka monen asukkaan meluallistusta käytetty keino vähentäisi?
- Meluntorjunnan haitat? Pilaako meluste tai muu keino ympäristöä, kulkuyhteyksiä tms.?
- Onko meluste tai muu keino kohtuuttoman kallis hyötyyn nähden?

Meluntorjunnan päämäärät, ja tavoitteet sekä haitalliseksi katsottava melutaso on kuvattu valtioneuvoston periaatepäätöksessä meluntorjunnasta (**Ympäristöministeriö 2007: Valtioneuvoston periaatepäätös meluntorjunnasta - Ympäristöministeriön raportteja 7 / 2007, Helsinki 2007**).

Valtioneuvoston päätöksen Vnp 993/92 mukaan asuntoalueilla sekä hoito- ja oppilaitosten kohdalla melun keskiäänitason ($L_{Aeq7-22}$) tulisi päivällä (7-22) olla enintään 55 dB, ja taajamien ulkopuolisilla loma- ja virkistysalueilla 45 dB.

Sisällä asuin-, opetus ja hoitotiloissa melun päiväaikaisen keskiäänitason ($L_{Aeq7-22}$) ohjearvo on 35 dB ja toimistoissa 45 dB. Avoin ikkuna vähentää melua ulkomeluun verrattuna alle 5 dB ja suljettu 25–35 dB ikkunatyypistä riippuen. Sisämelu on harvoin määräävämpi kuin ulkomelu, kun kysymys on liikennemelusta.

Yöajalle (klo 22-7) sovellettavat keskiäänitasojen ($L_{Aeq22-7}$) ohjearvot ovat alhaisempia. Vanhoilla asuntoalueilla 50 dB, uusilla 45 dB ja taajamien ulkopuolisilla loma- ja virkistysalueilla 40 dB sekä asuin- ja hoitotiloissa sisällä 30 dB.

Ohjearvot on määritelty keskiäänitasoina, jotka arvioidaan erikseen päiväajalle (klo 7-22) ja yöajalle (klo 22-7). Keskitasot ovat yleensä selvästi pienempiä kuin yksittäisten melutapahtumien (esimerkiksi auton ohiajon) aiheuttamat hetkelliset melutasot. Uu-

sia teitä suunniteltaessa pyritään tietä ja melusteitä suunnittelemalla siihen, ettei tie aiheuta ohjearvojen ylityksiä. Jos ohjearvon tason saavuttaminen edellyttäisi erittäin kalliita tai maisemaa pilaavia melusteitä tai muita kohtuuttomia ratkaisuja, voidaan asuntoalueiden joillakin osilla hyväksyä 55 dB:n ylittyminen, mutta ei yleensä 60 dB ylittymistä.

Melusteiden toteuttamisesta voidaan luopua, jos hinta tai maisemahaitta on saavutettaviin hyötyihin nähden kohtuuttoman suuri. Tällöin on selvitettävä muut mahdolliset keinot haittojen vähentämiseksi. Ikkunoita voidaan lisäeristää, rakennuksen käyttötarkoitusta muuttaa (mikä on käytännössä vaikeaa) jne. Huomattava on, että monet näistä keinoista ei ole tienpitäjänkäytävissä.

Huomattavien tienparannustöiden yhteydessä sovelletaan tavallisesti samoja periaatteita kuin uusilla teillä.

Vanhoilla teillä melulle herkätkohteet kartoitetaan yhdessä kuntien kanssa. Kohteet asetetaan kiireellisyys- ja tehokkuusjärjestykseen. Meluntorjunta on kiireellinen, jos merkittävä asuntoalue tai vastaava toiminta sijaitsee alueella, jonka päiväaikainen ulkomelutaso tieliikenteen vuoksi ylittää 65 dB. Tiehallinnon ympäristöohjelmassa on määritetty kriteerit kiireelliselle kohteelle:

- Maantien yli 65 dB melutasolle altistuu parikymmentä ihmistä
- yli 65 dB:n melualueella on meluherkkiä toimintoja
- 55–65 dB:n melualueella on kymmeniä asukkaita.

Tien parannustöiden yhteydessä melusteitä rakennetaan muissakin tapauksissa, esimerkiksi silloin, kun melusteella saadaan edullisesti vähennettyä meluallistusta huomattavasti.

Myös uusien asuntoalueiden kaavoittaminen aiheuttaa meluntorjunnan tarvetta. Vastuu meluntorjunnasta on tällöin kunnalla. Uusien asuntoalueiden suunnittelussa meluntorjunnan keinot ovat laajemmat kuin vanhojen kohteiden meluntorjunnan suunnittelussa.

Kuntien ja Tiehallinnon tulisi melusteiden rakentamisen sijaan pyrkiä vähentämään meluhaittoja muilla käytävissä olevilla keinoilla ja kehittää melun kannalta edullisempia ja ympäristöön sopivia ratkaisuja. Tällaisia ovat muun muassa väylän korkeus- ja sivusuuntainen sijoittaminen, päällystevalinnat, nopeusrajoitukset, raskaan liikenteen reittien valinta ja muut liikenteenohjauksen keinot ja suojaistutukset.

2.2 Meluntorjunnan kustannusten jako

Meluntorjunnan toteuttamiseen liittyvien kustannusnäkökohtien osalta ovat Tielaitos ja kuntien keskusjärjestöt vuonna 2001 laatineet suosituksen meluntorjunnan kustannusjaosta (**Suomen kuntaliitto: Kunnan ja valtion kustannusvastuun periaatteet maantien pidossa, Helsinki 2010**). Tiehallinnon lähtökohtana on noudattaa suosituksen mukaista kustannusjakoa.

Uuden maantien rakentamisen tai nykyisen maantien parantamisen yhteydessä, lisääntyvän meluhaitan poistamiseksi tai lievittämiseksi, tehtävien melusteiden rakentamisen kustannuksista vastaa valtio.

Kunta osallistuu olemassa olevan meluhaitan torjumiseksi tehtävien melusteiden rakennuskustannuksiin 25 %:n osuudella. Mikäli melusteet toteutetaan kunnan toivomuksesta lisämaankäytön mahdollistamiseksi olemassa olevan meluhaitan poistamiseksi korkeampitasoisena, kunta vastaa tästä aiheutuvista lisäkustannuksista edellä mainitun 25 %:n kustannusosuuden lisäksi.

Jos kunta kaavoittaa olemassa olevan tien läheisyyteen sellaista toimintaa, joka tarvitsee melusuojausta, vastaa kunta meluntorjunnan kustannuksista.

Maantien melusterakenteiden omistaja on valtio, ellei toisin sovita. Liikennealueen raja voi sijaita melusteiden keskellä (yleensä meluvalliratkaisussa).

Melusteiden kunnossapito on omistajan vastuulla.

Mikäli meluvalli sijaitsee osittain tai kokonaan liikennealueen ulkopuolella tai se rajoittuu kunnan hoidossa olevaan viheralueeseen, voidaan sopia, että kunta vastaa meluvallin liikennealueen ulkopuolisen osan tai viheralueen puolisen luiskan kunnossapidosta.

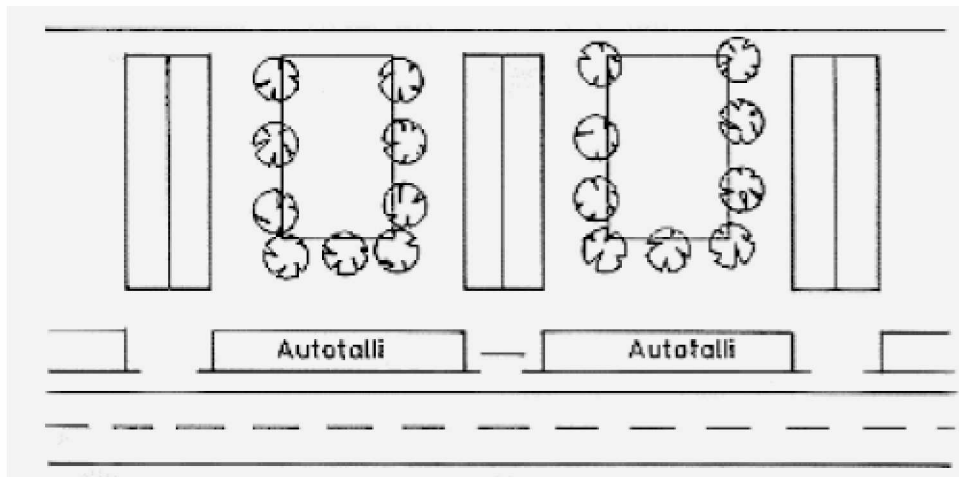
Lisäksi tienpitäjä voi korvata meluhaitoista kiinteistölle esimerkiksi tietoimituksen yhteydessä.

2.3 Meluntorjunnan vaihtoehtoja

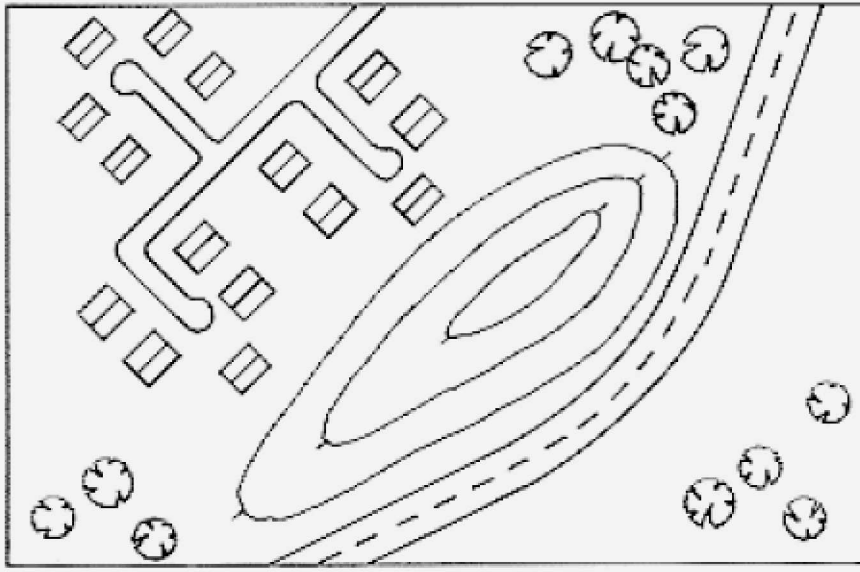
2.3.1 Tiesuunnittelu ja kaavoitus

Kaavoitus on keskeinen keino hallita melua tulevaisuuden yhdyskunnissa. Uusien asuinalueiden kaavoittaminen pyritään tekemään siten, ettei altisteta lisää ihmisiä melulle. Meluntorjunnan huomioon ottaminen täydennysrakentamisessa on entistä tärkeämpää Kaavoituksessa noudatetaan ohjetta: **Ympäristöministeriö 2001: Liikennemelun huomioon ottaminen kaavoituksessa. LIME-työryhmän mietintö – Suomen ympäristö 493. Ympäristöministeriö. Helsinki 2001).**

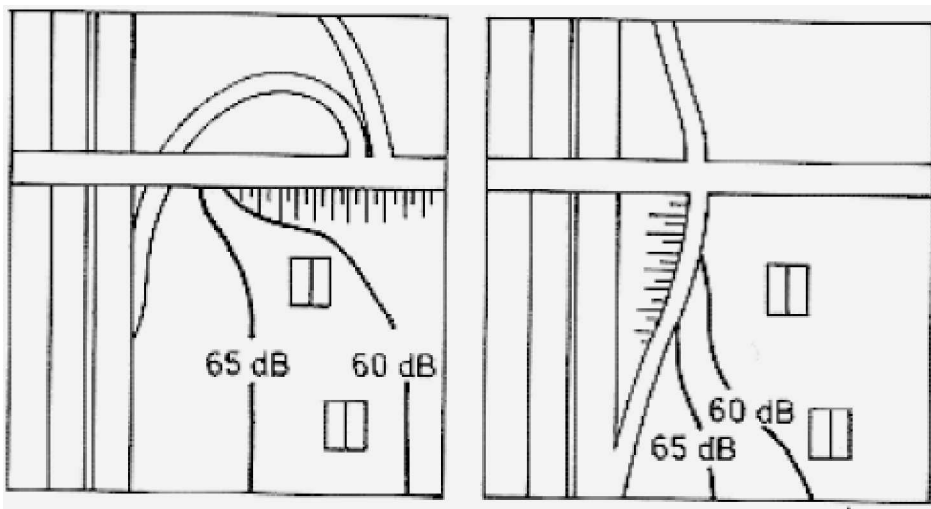
Tiesuunnittelussa ja kaavoituksessa tulee huolehtia siitä, että tietä ja melulle herkkiä toimintoja ei sijoiteta liian lähelle toisiaan. Tien viereen voidaan sijoittaa teollisuutta, kauppoja tai muuta melulle vähemmän herkkää toimintaa muuriksi. Asuntoalueilla autotalleja tai ulkovarastoja voidaan käyttää osana meluntorjuntaa.



Kuva 1. Asuintalojen ja tien väliin voidaan sijoittaa autotalleja. Rakennusten väliin voidaan rakentaa meluste.



Kuva 2. Tien ja asutuksen väliin voidaan jättää mäki, tai tie voidaan sijoittaa leikkaukseen.



Kuva 3. Eritasoliittymän rampilla voidaan vähentää melua.

2.3.2 Liikennemäärä ja ajonopeus

Tieliikenteessä syntyvää melua voidaan vähentää pienentämällä liikenteen määrää tai alentamalla nopeuksia. Nopeuden alentaminen 100:sta 80:een tai 80:stä 60:een km/h alentaa melua 2-3 dB. Liikennemäärän puolittuminen vähentää melua 3 dB. Raskaan ajoneuvon aiheuttama melu vastaa 50 km/h nopeudessa kymmentä henkilöautoa ja 100 km/h nopeudessa viittä henkilöautoa. Tien suuri (>5 %) pituuskaltevuus lisää melua 2-3 dB.

2.3.3 Melua vaimentavat asfalttipäällysteet

Melua voidaan vähentää myös käyttämällä normaalissa päällysteessä pienempää maksimiraekokoa. Esimerkiksi **Asfalttinormien 2008** mukaisen SMA8:n melutaso (CPX-arvo) on 3...4 dB pienempi kuin AB16:n. Tavallinen SMA8 kuitenkin kuluu noin 2 kertaa niin nopeasti kuin vastaavista materiaaleista valmistettu AB16. Melua vaimentaviin päällysteisiin tulee valita normaalia paremmin kulutusta kestävä materiaali. Tästä syystä parhaat melua vaimentavat päällysteet kuluvat vain hiukan nopeammin kuin AB16. Muiden tavanomaisten melua vaimentavien päällysteiden CPX-arvo on 2...4 dB pienempi kuin AB16:n. Kun melutuloksia tulkitaan, on otettava huomioon, että Suomessa on vuoteen 2010 saakka käytetty CPX-melumittauksissa sileää rengasta. Päällystealan neuvottelukunnan (PANK) ry:n Asfalttinormeissa 2008 on esitetty tavallisimpien päällysteiden ominaisuuksia. Monet asfalttiurakoitsijat ovat myös kehittäneet omia melua vaimentavia päällystetuotteitaan.

Renkaan ja päällysteen kosketuksessa syntyvää melua mitataan mittausvaunulla. Tuloksena saadaan CPX-arvo. Kun sitä käytetään laatuvaatimuksena, vaatimus koskee ensimmäisen talven jälkeistä CPX-arvoa.

Kun AB16 päällyste korvataan poikkeuksellisen paljon melua vaimentavalla päällysteellä, jonka CPX-arvo on 3 dB pienempi, melutaso ei laske ympäristössä 3 dB, vaan vähemmän. Tämä johtuu siitä, että melua vaimentava päällyste ei vähennä ajoneuvojen moottorista tai ilmanvastuksesta syntyvää melua. Hyöty on suurin, jopa 5 dB, kun liikenteen ajonopeus on suuri ja suojattava kohde vähintään 3 m tietä ylempänä. Hyöty on pienempi, kun ajonopeudet ovat alhaiset ja suojattava kohde on lähellä maanpintaa tai melusteiden takana. Tarkemmin asiaa on käsitelty Tiehallinnon julkaisussa **Tietoa tiensuunnitteluun 75: Hiljaisen päällysteen vaikutus tieympäristön melutasoon**.

Keski-Euroopassa käytettävät melua vaimentavat päällysteet ovat rakenteeltaan huokoisia. Ne pestään määräjain, sillä niiden huokokset tukkeutuvat helposti.

Monissa julkaisuissa käytetään päällysteen hiljaisuutta kuvaamaan myös tien vieressä mitattuja ohiajomittaus- eli SPB-arvoja. SPB-arvot ovat pienempiä kuin CPX-arvot. Molempia menetelmiä voidaan käyttää päällysteiden meluominaisuuksien seurantaan, mutta SPB-mittauksen vaatimukset ympäristön soveltuvuudelle ovat suuremmat.

Päällysteessä olevat yksittäiset töyssyt, painuneet sadevesikaivot, epätasaiset sillan siirtymälaitteet ym. tulee korjata. Ne aiheuttavat hetkellisiä meluhiippuja, jotka häiritsevät erityisesti yöllä. Vähäliikenteisilläkin teillä yksittäiset routaheitot, esimerkiksi rummun kohdalla, ovat melun kannalta merkittäviä, kun kuorma-auto ajaa niiden yli.

2.3.4 Rakennuksiin kohdistuvat toimenpiteet

Melupäästöihin ja melun leviämiseen kohdistuvia toimenpiteitä ei voida aina toteuttaa. Esimerkiksi tiiviiseen kaupunkirakenteeseen ei voida sijoittaa rakenteellisia melusteita, ajonopeuksia ei voida enää pienentää eikä hiljaisilla pinnoitteilla saavuteta enää merkittävää hyötyä. Tällöin rakennukseen kohdistuvilla toimenpiteillä pyritään vähentämään liikenteen aiheuttamia melutasoja sisätiloissa. Tällaisia toimenpiteitä ovat esimerkiksi:

- Vanhojen rakennusten käyttötarkoituksen tai huonejärjestyksen muuttaminen

-
- Melutasojen huomioon ottaminen kaavamääräyksissä ja rakenteiden suunnittelussa
 - Rakenteiden äänen eristävyysparantaminen (ikkunat ja korvausilma-aukot)

Edellä esitetyt toimenpiteet eivät ole tienpitäjän käytettävissä olevia keinoja.

2.4 Meluste asukkaiden ja tien käyttäjien kannalta

Melusteen päätarkoitus on vähentää melulle altistumista ja melusta aiheutuvia haittoja. Melusteilla voi olla useita muitakin vaikutuksia. Asukkaiden haastatteluissa muita etuna koettuja asioita ovat

- lasten juokseminen tielle estyy
- kuraroiskeet vähenevät
- pölymäärä pienentyy.

Toisaalta haittoina koetaan

- ikävä ulkonäkö
- estää näkemisen tielle tai tien yli
- estää suoran kulkemisen tielle
- voi varjostaa pihaa.

Ulkonäköä koskevia ristiriitoja voi yrittää välttää ottamalla asukkaat mukaan melusteen ja niiden istutusten suunnitteluun ainakin pihojen kohdalla.

Maiseman menetystä voidaan joskus välttää sijoittamalla tie pihaa alemmaksi. Tällöin jopa 1,5 m korkuinen meluste voi osoittautua riittäväksi. Läpinäkyvät melusteet eivät peitä näkymiä.

Melusteessa ei saa olla sellaisia aukkoja tai reikiä, joista lapset voivat päästä tiealueelle yllättävästi.

Kun melusteita rakennetaan, pyritään välttämään, ettei meluste peitä esimerkiksi ilta-auringon paistamista pihaan tai estä kaupan tunnuksen näkymistä tielle. Tiellä liikkuvalla tulisi antaa ainakin mielikuva siitä, onko melusteen takana taajama vai esimerkiksi virkistysalue.

Autoilijoiden kannalta aivan tien viereen tehty pitkä korkea meluste on ikävin. Jos tilaa on, meluste tulisi välillä sijoittaa etäämmäksi tiestä lähelle suojattavaa kohdetta. Ahtaammassakin paikoissa melusteeseen voidaan tehdä mutkia, joiden kohdalle tulee puu tai muuta kasvillisuutta.

2.5 Melunlaskentamenetelmät ja niiden käyttötapaukset

2.5.1 Melulaskennan laatuvaatimukset

Tieliikenteen aiheuttamaa melua arvioidaan yleensä laskentamallien avulla. Suunnittelussa käytetään yleensä ennustetilanteita, sillä melutilanteen arvioiminen mittamalla ei aina ole mahdollista. Yksittäisiä melumittaustuloksia ei voida yleensä käyttää melutilanteen arvioinnin lähtökohtana, koska maastossa tehtävissä melumittauksissa paikasta, säästä ja liikennemäärästä aiheutuvat vaihtelut ovat suuria.

Melualueet määritetään käyttämällä pohjoismaisen tieliikennemelumallin kolmatta versiota vuodelta 1997: **Nordic Council of Ministers 1996: Road Traffic Noise - Nordic Prediction Method, TemaNord 1996:525**. Pohjoismaisen tieliikennemelumallin sovelluksia on useissa kaupallisesti saatavissa olevissa melun laskentaohjelmistoissa. Kaupallisesti saatavissa olevista melunlaskenta ohjelmista on lisätietoja Meluttahankkeen loppuraportissa ja ympäristömeludirektiivin täytäntöönpanoon liittyvässä mallivertailussa:

Ympäristöministeriö 2007: Melutta -hankkeen loppuraportti – Ympäristöministeriön raportteja 20/2007, Ympäristöministeriö 2005: Ympäristömeludirektiivin täytäntöönpanoon liittyvät laskentamallivertailut – Suomen ympäristö 753.

Laskelmissa on aina mainittava, minkä version mukaan laskelmat on tehty.

Melusteiden suunnittelussa laskentamallia käytetään erityisesti esteen akustisessa mitoituksessa. Laskentamallin avulla arvioidaan esteen pituus, korkeus ja sijainti, joilla saavutetaan mahdollisimman suuri melun vaimentuminen tarkasteltavassa kohteessa.

Laskentamallin käyttäminen esteen suunnittelussa vaatii mahdollisimman tarkkoja tietoja väylän geometriasta ja väylää ympäröivästä maastosta. Tässä suhteessa suunnitteluvaiheen melulaskennat eroavat esimerkiksi alueellisista ja strategisista meluselvityksistä, joilla kartoitetaan meluallistumisen laajuutta ja ongelmapaikkojen sijaintia.

Laskelmissa käytetään tavallisesti 20 vuoden päähän ennustettua liikennettä, ellei tien suunnittelun lähtökohtana ole jokin muu tarkastelu-aika. Laskentamallin laatimiseen tarvittavia lähtötietoja ovat:

- Liikennemäärätiedot (KVL, päivä- ja yöaikaisen liikenteen määrät, raskaan liikenteen osuus, ajonopeus)
- Väylän geometria (ajokaistojen sijainti, korkeusasema, leveys pituus- ja poikittaishalvuus)
- Ympäriöivän maaston topografia ja ominaisuudet (maaston muodot, maan pinnan ominaisuudet, kasvillisuus)
- Melun etenemiseen vaikuttavat rakenteen (rakennusten ja melusteiden sijainti, korkeus, rakenteiden akustiset ominaisuudet)
- Vastaanottopisteen (laskentapisteen) sijainti ja korkeusasema

Melusteiden mitoitusta varten tehtävissä melulaskennoissa käytetään tie- ja rakennussuunnitelman tietoja tien sijainnista ja korkeusasemasta. Maaston korkeustietojen tulee olla käytettävissä 0,1 m tarkkuudella tien läheisyydestä ja laskentamallissa korkeuskäyrien välin tulee olla enintään 1 m. Melusteiden laskennallisessa mitoituksessa laskentapisteen tiheys tulee olla 5 x 5 m ja erillisiä laskentapisteitä sijoitetaan suojattaviin kohteisiin.

Laskettaessa ulkoalueiden melutasoja laskentakorkeutena käytetään 2 m ja tarkasteltaessa rakennuksiin kohdistuvia melutasoja laskentapisteitä sijoitetaan kaikkien kerrosten korkeudelle. Melulle altistuvien asukasmäärien arvioinnissa käytetään alle viisi vuotta vanhoja rakennus- ja henkilörekisterin tietoja. Ympäristöministeriön julkaisun Melutta -hankkeen loppuraportin **Ympäristöministeriö 2007: Melutta -hankkeen loppuraportti – Ympäristöministeriön raportteja 20/2007. Helsinki 2007** osaraportissa 1 ”Meluselvitysten laskennalliset menettelyt” on esitetty melulaskennan lähtötietoihin ja melulaskentaan liittyviä suosituksia maapinnan akustisista ominaisuuksista, rakennusten ja melusteiden absorptiokertoimista, kevyiden ja raskaiden ajoneuvojen osuuksista sekä keskimääräisistä nopeuksista.

Meluselvitysten tekemisessä käytettävien tietokoneohjelmistojen tulee sisältää laskennassa kulloinkin käytettävän laskentamallin algoritmit ja ohjelmiston tulisi olla verifioitu laskentamallin mukaisesti. Koska yhteispohjoismaisten ympäristömelun laskentamallien algoritmit on implementoitu eri tavoin eri ohjelmistoissa, käytettävän ohjelmiston käyttäytyminen eri tilanteissa on tunnettava perusteellisesti ennen meluselvityksen tekemistä.

2.5.2 Laskentatuloksiin tehtävät korjaukset

Varsinaisen melulaskennan jälkeen tuloksiin tehdään tarvittaessa seuraavia korjauksia

- kahden melusteiden heijastuksen edellyttämä korjaus tämän ohjeen kuvan 41 mukaan.
- hiljaisen päällysteen edellyttämä korjaus **Tietoa tiensuunnitteluun 75: Hiljaisen päällysteen vaikutus tieympäristön melutasoon** mukaan.
- tien sivukaltevuuden edellyttämä korjaus.

Tien sivukallistuksen vaikutus melusteiden tehokkuuteen tulee ottaa huomioon esteen mitoitusta varten tehtävissä melulaskennoissa. Sivukallistuksen vaikutus voi olla merkittävä erityisesti leveillä nelikaistaisilla teillä, joissa tasausviiva sijaitsee keski-alueen puoleisella reunalla.

Mikäli melulaskennoissa tien korkeutena käytetään tasausviivan korkeutta, eikä laskentamallissa tielle ole asetettu sivukallistusta, tulee melusteiden korkeus syöttää ohjelmaan todellista matalampana, kun tie viettää melusteeseen päin ja todellista suurempana, kun tie viettää melusteesta pois päin. Korjaustermi lasketaan kaavalla

$$\Delta h = 0,5 \times \text{sivukaltevuus} \times \text{leveys} \quad (1)$$

Seitsemän metriä leveällä tiellä, joka viettää 3 % sivukaltevuudella esteen puoleiselta reunalta tien keskelle, saadaan korjaustermiksi +0,1 m. Mikäli vastaava tie viettää tien keskeltä esteen puoleiselle reunalle on korjaustermi negatiivinen -0,1 m.

Melusteiden laskennallisessa mitoituksessa voi syntyä yli 2 dB virhe, mikäli tien poikittaiskallistusta ei oteta huomioon. Virhe on suurin, kun sivukaltevuus on yli 3 %.

2.5.3 Tulosten dokumentointi

Laskennan dokumentoinnin tulisi melukarttojen ja taulukoiden lisäksi sisältää vähintään seuraavat tiedot:

- yleinen kuvaus tehdystä meluselvityksestä sisältäen tiedot tarkastellusta alueesta ja selvityksen tarkoituksesta
- kuvaus laskentamalleista ja ohjelmistoista
- kuvaus altistumisen arvioinnissa käytetyistä asukasmääristä
- yksityiskohtainen selvitys liikennetiedoista
- tiedot mistä liikennetiedot on saatu tai kuinka ne on määritetty
- selvitys maastomallin muodostamistavasta
- maanpinnan ominaisuudet eri kohdissa
- korkeuskäyrien tiheys
- laskentaruutujen koot eri kohdissa tarkasteltavaa aluetta.
- heijastusten huomioon ottaminen laskennassa
- selvitys mahdollisista tarkistusmittauksista.

Tiehallinto edellyttää, että melusteiden mitoitusta varten tehtävissä melulaskennoissa käytetään edellä esitettyjä tarkkuusvaatimuksia laskennan lähtöaineiston suhteen sekä MELUTTA-hankkeen suosituksia.

3 Melusteen perusvaihtoehdot

3.1 Meluvalli

Meluvallin edut ovat seuraavat:

- yleensä halvempi kuin muut meluateratkaisut
- ääntä imevä
- ilkivaltaongelmat ovat pieniä
- monissa paikoissa ulkonäöltään sopivin.

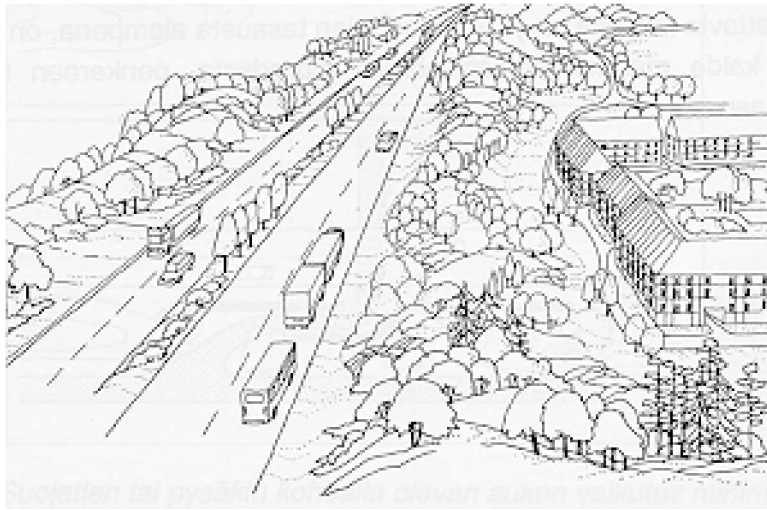
Meluvallin ongelmat:

- vie paljon tilaa; tiealue ja maahan upotetut johdot rajoittavat
- ulkonäkö huono, jos monotoninen tai kasvillisuuden suunnittelu tai hoito on puutteellinen
- pehmeiköllä voi aiheuttaa painumia ja sortumia.

Meluvallin luiskakaltevuus rajaa läjitysmaiden käyttöä: Märät saviset maat vaativat 1:6, kuivat saviset maat ja moreenit 1:2 ja routimattomat moreenit ja sora 1:1,5 kaltevuuden. Lujiteverkkoa tai ankkuroituja harkkoja käyttämällä voidaan käyttää lähes pystysuoraa luiskaa.

Meluvallin luiskakaltevuus vaikuttaa myös valliin istutettaviin puihin ja pensaisiin sekä niiden hoitoon. Nyrkkisääntönä voidaan todeta, että mitä jyrkempi on meluvallin luiska, sitä hankalampi siinä olevaa kasvillisuutta on hoitaa. Nurmettaminen ja nurmenleikkuu onnistuu vielä, kun luiska on loivempi kuin 1:1,5. Jyrkempien kuin 1:3 luiskien niittäminen edellyttää varren päässä olevan tai kauko-ohjatun leikkurin käyttöä, mikä nostaa hoidon kustannuksia.

Jyrkemmissä kuin 1:1,5 luiskissa pintaeroosio on torjuttava muilla keinoilla, kuten lujitteilla, sidonta- tai eroosiomatoilla tai jyrkkiin luiskiin soveltuvalla kasvualustalla, jotta kasvualusta pysyy jyrkällä pinnalla. Kasvualustan sidontaa voidaan käyttää myös loivemmissa luiskissa. Meluvallin metsitys on pitkällä aikavälillä kaikkein edullisin vaihtoehto.



Kuva 4. Jos tila sallii, meluvallista pitäisi tehdä poikkileikkaukseltaan vaihteleva jono kumpareita. Ahtaammissa paikoissa tienpuoleinen sivu pidetään usein vakiokaltevuudessa, mutta asutuksen puolella luiskakaltevuus vaihtelee.

Loivissakin valleissa kasvillisuuden vaatimukset on otettava huomioon. Kasvillisuus on pidettävä kunnossa ja roskat poistettava, koska tielle päin viettävä luiska näkyy tielle hyvin. Tavallisesti vallin kasvillisuudeksi tulee vuorotellen tiheä pensassaareke ja tiheähkö puustosaareke, jolloin nurmea ja roskia ei näy tielle paljonkaan, tai nurmi, jossa on melko tiheitä puusto- tai pensassaarekkeita. Pensaiksi ja puiksi valitaan kesäviä lajeja.

Pehmeiköllä meluvallissa ja niiden alla voidaan käyttää kevyttä täytettä kuten kevytsoraa, kevyttä tuhkaa, autonrenkaiden paloja tai vastaavaa. Luiskakaltevuuksien pitäminen riittävän jyrkinä edellyttää kuitenkin usein kitkamaan tai lujiterakenteen käyttöä vallin reunoissa. Lisäksi meluvallin pinnassa tarvitaan riittävän paksu kerros maata kasvillisuutta varten. Veden nousu kapillaarisesti kasvien käyttöön on varmistettava.

Meluvallit ovat suistuvan auton kannalta turvallisia. Turvallisuuden varmistamiseksi sivuojan pohja tai vallin tyvi pitäisi kuitenkin pyöristää, jos tilaa on käytettävissä. Myös vallin laki pyöristetään ulkonäkösyistä. Pyöristyssäteen tulisi olla vähintään 3 m.

3.2 Kivikorit meluseinänä tai vallina

Kivikoreista ja ankkuroiduista tukimuuriharkoista voidaan tehdä pystysuoria, kallistettuja tai porrastettuja pintoja. Paikallisia jyrkkäluiskaisia kohtia voidaan sijoittaa tavalliseenkin maavalliin, kun vallia on kavennettava arvokkaan puun tai ahtaan paikankuoksi tai kun vallin ulkonäköön halutaan vaihtelua. Kivikoreihin istuttaminen on Suomessa hyvin haastavaa, sillä kuivuus ja pakkanen haittaavat kasvillisuutta. Kasvillisuus pitäisi mieluummin sijoittaa kivikorin eteen.

Kun vallia on jyrkennetty kivikoreilla tai korkealla seinämällä, tarvitaan aita putoamisten ehkäisemiseksi.

Kivikorit kestävät painumaa paremmin kuin muut tekniset ratkaisut, mutta epätasaisessa maaperässä kivikorit edellyttävät painumattoman perustuksen.

Kivikoreista voidaan latoa myös kapea muuri, kun kivikorit tuetaan pilareilla. Kun kivikorin paksuus on yli 0,6 metriä ja kiviaineksen maksimiraekoko on enintään $\frac{1}{4}$ kivikorin paksuudesta, voidaan kivikorimuurin eristävyysluvaksi DL_R olettaa 15 dB, ja kun paksuus on 1 m 20 dB. Jos halutaan käyttää suurempaa eristävyyslukua tai halutaan osoittaa pinta ääntä imeväksi, on käytettävä standardin SFS-EN 1793 mukaisia mittauksia.

Rakenteissa, joita ei ole tuettu, kivikorin paksuuden tulee olla vähintään 1 metri. Korkeissa rakenteissa kivikorirakenteen vakavuus on huomioitava esimerkiksi leventämällä rakenteen alaosa. Kivikorin verkon silmäkoko pitää olla raekokoon nähden riittävän pieni, ettei kiviaines kulkeudu suojaverkon lävitse. Kivitäytön rakeisuusalue tulee myös sovittaa siten, että kiviaines kiilautuu riittävän hyvin korin sisään eikä jätä liikaa tyhjätillaa, mikä voi heikentää ääneneristävyyttä. Kivikorit eivät ole erityisen alttiita töhrimiselle rikkonaisen pintarakenteen vuoksi, mutta niiden puhdistaminen on hankalaa. Kivikorirakenteissa ulkoisen vaurioitumisen mahdollisuus esimerkiksi talvihoidon yhteydessä on huomioitava. Eräs vaihtoehto on rakentaa reunakiveys tai kapea viherkaista kivikorirakenteen eteen.

Käyttöikävaatimukset tulee huomioida kivikorien materiaalivalinnoissa. Rakenteissa, joiden käyttöikävaatimus on kymmeniä vuosia, tulee kivikorien olla riittävästi suojattu korroosion vaikutuksia vastaan. Hitsatuissa kivikoreissa teräslangan paksuuden on oltava vähintään 3 mm ja verkon on oltava kokonaan kuumasinkittyä tai alusinkittyä siten, että sinkkiä on myös solmukohtissa. Punottuja koreja käytettäessä korit tulee valmistaa kaksoispunotusta ja muovipinnoitetusta langasta. Sinkityn ydinlangan vahvuuden tulee tällöin olla vähintään 2,7 mm sekä muovipinnoitteen 0,5 mm, jolloin langan kokonaispaksuus on 3,7 mm. Muovipinnoitettujen korien käyttöikä on huomattavasti suurempi kuin sinkittyjen tai alusinkittyjen korien. **Korien tulee aina olla muovipinnoitettuja aggressiivisissa olosuhteissa, esimerkiksi jatkuvasti veden kanssa kosketuksissa olevissa rakenteissa ja suolarasituksen vuoksi moottoriteiden ja Vaasa-Lappeenranta linjan eteläpuolisten valta ja kantateiden varsilla, kun KVL on vähintään 6000 ajon/vrk ja etäisyys tiestä on enintään 10 m.**

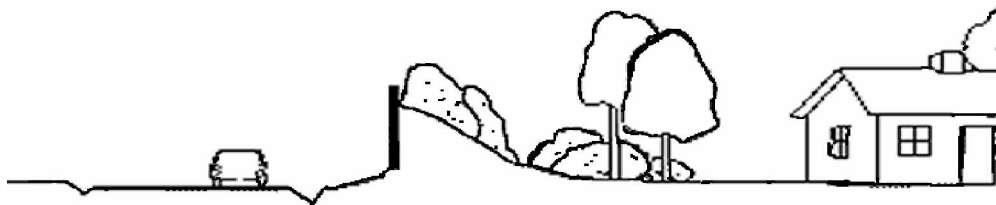
3.3 Meluvallin ja -seinän yhdistelmä

Meluvallin päälle rakennettavaa seinää voidaan käyttää silloin, kun

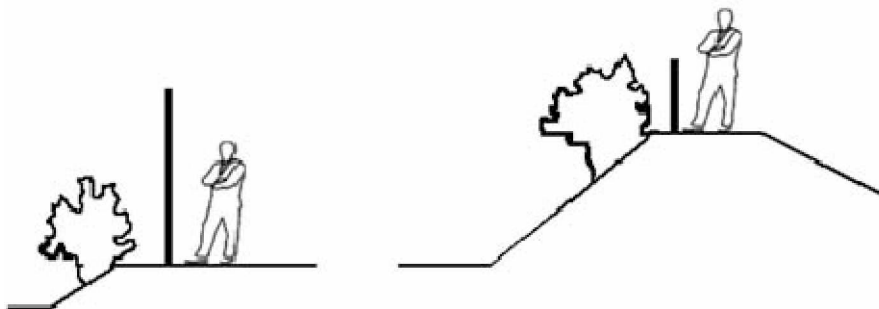
- pelkkä meluvalli ei tilanpuutteen vuoksi mahdu kohteeseen
- meluvallilla ei saavuteta riittävää melunvaimennuskorkeutta
- kohteessa on meluvalliin soveltuvaa maa-ainesta lähellä

Meluvallin ja -seinän yhdistelmä on esteettisempi kuin pelkkä meluseinä. Yhdistelmä soveltuu luontevammin ympäristöönsä. Lisäksi yhdistelmän meluseinä voidaan piilottaa osittain meluvalliin tehtävillä istutuksilla. Autot eivät törmää myöskään vallin päällä olevaan seinään yhtä helposti kuin tasamaalla olevaan meluseinään.

Yhdistelmä saattaa tietyissä tapauksissa olla rakennuskustannuksiltaan meluseinää tai meluvallia edullisempi.



Kuva 5. Meluvalliin on tehty jyrkkäluiskainen kohta voi säästää alkuperäisiä puita tai pihaa. Jyrkkä-luiskaisia (yli 2 m korkea, yli 1:1 luiskaa) valleja ja tukimuureja käytettäessä on otettava huomioon putoamisvaara. Riskit ovat suurimmat asuntojen tai koulujen pihojen ja asuinalueilla kevyen liikenteen väylien vieressä. Pienten lasten ylös kiipeäminen tulisi estää ja putoaminen tulee ensisijaisesti estää. Verkkoaidan sijasta vallin päälle rakennettu meluaita on luonteva tapa estää putoaminen.



Kuva 6. Ahtaissa paikoissa käytetään meluseinää. Meluseiniä ei pitäisi sanoa meluaidoiksi, sillä ne ovat yleensä niin korkeita, ettei niiden yli näe.

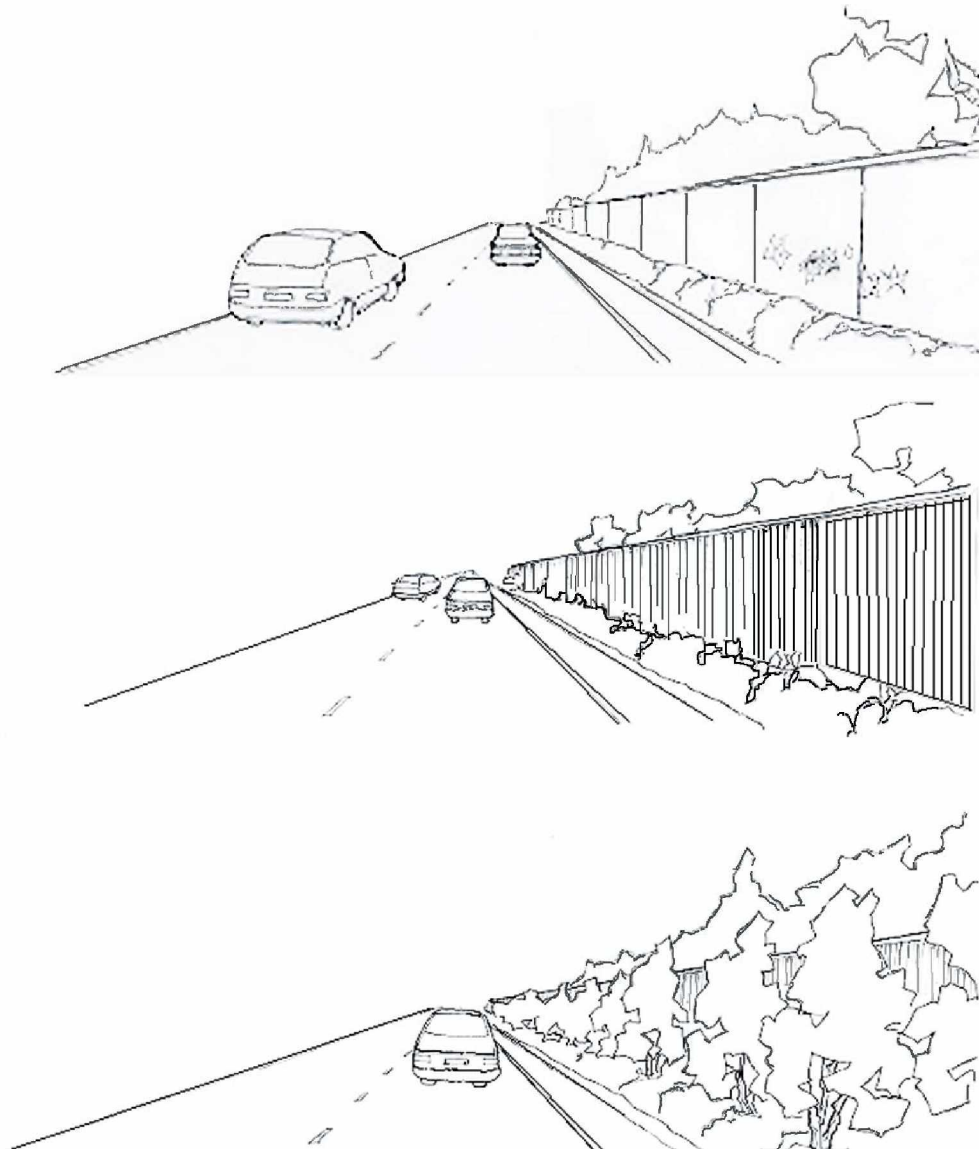


Kuva 7. Teräsverkkohäkistä ja kumimatosta koostuva meluste. Häkin sisällä riippuu pystysuorassa kumimatto, jonka äänen eristävyysluku on vähintään 25 dB. Rakenne on kevyt eikä tarvitse pehmeikölläkään erityistä perustusta. Se sietää myös epätasaisia painumia, jos vältetään suoria pintoja ja suoria linjoja tai häkkiin istutetaan nopeakasvuinen pajukko. Kuvassa vasemmanpuoleinen seinä koostuu verkosta, jonka läpi pensaat aikanaan kasvavat. *Tämäntyyppisiin innovatiivisiin ratkaisuihin Liikennevirasto antaa tarvittaessa SFS-EN-standardista poikkeavan vaatimuksen. Esimerkiksi tässä kumimattoon ei sovelleta tuulikuormalla siirtymärajoja.*

3.4 Meluseinät

Meluseinät ovat suhteellisen ohuita meluntorjuntarakenteita, jotka ovat tavallisesti vähintään 2 m korkuisia. Meluseiniä käytetään kohteissa, joissa tarvitaan merkittävä melun vaimennus ja tilaa on liian vähän esimerkiksi vallien rakentamiseen.

Meluseinän paksuntamisesta esimerkiksi 1 m paksuiseksi muuriksi ei ole hyötyä. Perustusten ja maanpäällisten osien hinta vain nousee. Riittävä eristävyys saavutetaan jo ohuella rakenteella. Keski-Euroopassa käytetyt melusteet, joihin istutetaan kasveja, menestyvät huonosti Suomen ilmastossa.



Kuva 8

Paljasta meluseinää parempi ratkaisu on meluste, jonka edessä on kasvillisuutta. Pensailta voidaan pienentää korkeusvaikutelmaa ja vaikeuttaa jonkin verran töhrimistä. Rivillä alhaalta asti oksaisia tai juurivesoista lisääntyviä puita voidaan peittää koko seinä. Tällöin into töhrimiseen vähenee, saadaan pehmeä ilme melusteelle ja voidaan käyttää halvempia seinärakenteita. Edellytyksenä kasvillisuudelle on kuitenkin riittävä tila. Törmäykset puihin eivät ole turvallisuusongelma, jos valitaan puulaji, johon ei kehity paksua runkoa.

3.5 Melukaide

Melukaide on rakenne, joka toimii yhtä aikaa melusteenä ja kaiteena.

Melukaidetta käytetään lähinnä penkereillä, koska

- meluste joudutaan rakentamaan lähelle tietä, koska alaspäin viettävässä luiskassa kauemmas sijoitetusta esteestä jouduttaisiin tekemään hyvin korkea.
- lähelle tien reunaa rakennettu meluseinä estäisi aurausta, mutta matalampi rakenne ei.
- lähelle tien reunaa sijoitetussa rakenteessa on otettava huomioon ajoneuvojen törmäykset.
- vain penkereellä melukaide voi vaimentaa melun leviämistä riittävästi.

Melukaiteen yleinen korkeus on noin 1,0...1,2 metriä tien reunan tasosta. Kyseinen korkeus voi olla riittävä vain penkereellä tai sillalla. Tarvittaessa melukaide voidaan toteuttaa 1,6 metrin korkuisena vähälumisilla alueilla. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää 1,0...1,2 m korkuisia liikkumatonta melukaidetta, jonka päälle tulee meluseinä, joka voi olla myös läpinäkyvä. Enintään 1,2 m korkuisen melukaiteen perustusten riittävyyttä ei tarvitse osoittaa laskelmin.

Melukaiteen korkeudessa otetaan huomioon seuraavat asiat:

1. **Turvallisuus.** Pyöräilijöiden ja säiliöautojen kannalta korkeuden on silloilla oltava yleensä vähintään 1,2 m. Tarvittaessa esim. 0,9 m korkuiseen melukaiteeseen voidaan tehdä yläjohde. Muissa paikoissa melukaiteen vähimmäiskorkeus on yleensä 0,8 m.
2. **Näkymä kaiteen yli.** Yli 1 m korkuinen kaide rajoittaa usein huomattavasti näkyvyyttä.
3. **Meluntorjunta.** Vaimennus kasvaa korkeuden kasvaessa. Meluntorjunnan suuruuden tarve selvitetään melulaskelmin.
4. **Lumenpoisto.** Kaiteen yli voidaan aurata pakkaslunta, jos kaiteen korkeus on auratyypistä riippuen enintään 1,1...1,2 m. Korkeampi kaide voi edellyttää lumen siirtelyä pyöräkuormaajalla, mikä voi olla liikenteelle vaarallista ja kallista.
5. **Ulkonäkö sivulta:** Asia on käsitelty kohdassa 4.2.

Melukaide sijoitetaan kuten tavanomainen kaide. Lumen välivarastoksi melukaiteen kohdalla piennarta voidaan leventää. Etäisyys lähimmän ajokaistan reunasta ei saisi kuitenkaan olla suurempi kuin 3 m, koska suurempi etäisyys mahdollistaa suuremmat suistumiskulmat. Sisäkaarteissa suistumiskulmat ovat pienempiä, minkä vuoksi voidaan käyttää 3...5 m etäisyyttä näkemien varmistamiseksi.

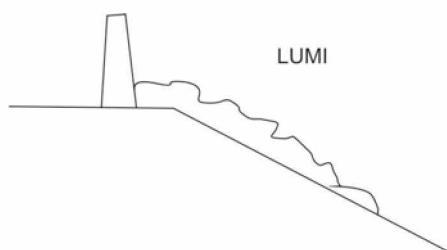
Törmäyskaiteita koskevan EN standardin SFS-EN 1317-5 mukaan kaiteet pitää testata törmäyskokein ja melusteitä koskevan standardin SFS-EN 1794-2 mukaan yhdistetty kaide ja meluste pitää testata törmäyskokein. Törmäyskokeet on kuvattu standardissa SFS-EN 1317-2. Törmäyskokeessa mitoitussajoneuvo ei saa mennä kaiteen läpi, eikä kaide saa aiheuttaa muutakaan vaaraa autossa olijoille. Lisäksi SFS-EN 1794-2 tuntee meluseinän, jonka osalta on törmäyskokein osoitettu, että seinään törmäminen ei aiheuta suurta vaaraa autossa olijoille, mutta auto saa mennä läpi.

Kaiteita koskeissa ohjeissa on määritetty, mikä SFS-EN 1317 mukainen törmäyskestävyysluokka eri tilanteissa vaaditaan ja paljonko kaiteen takana pitää olla tilaa esteiden kohdalla ja penkereen reunassa. Maanteiden penkereen reunan betonikaiteiden törmäyskestävyysluokaksi valitaan vähintään H2 (mitoitussajoneuvona linja-auto), vaikka normaaliksi tiekaiteeksi riittäisi luokan N2 (henkilöauto) kaide. Luokan N2 betonikaide voisi katketa linja-auton törmäyksessä ja irronneet betonielementit voisivat aiheuttaa vaaraa. Melukaiteen taakse tarvitaan 0,5 m tasanne. Rakennettaessa melukaide nykyiselle tielle riittää 0,3 m, jos näin vältetään kokonaan korkean penkereen leventäminen.

Myös maanteiden penkereiden teräksisen melukaiteen törmäyskestävyysluokaksi valitaan H2. Kun tien nopeusrajoitus on enintään 60 km/h tai tiehankkeella tarvitaan enintään 2 enintään 300 m melukaidetta, voidaan hyväksyä ilman törmäyskokeita seuraava melukaide:

- pylväänä on U-160 ja pylväsväli on 2 m, ellei auratun lumen paine vaadi järeämpää mitoitusta
- melujohteen paksuus on vähintään 3 mm, koska ohuempi ei kestä törmäystä tai aurausta pitkään eikä pintaan saada pitkäikäistä sinkitystä
- sinkityksen vähimmäispaksuus on paikallisesti 0,055 mm ja keskimäärin 0,070 mm
- melujohteessa on vähintään 50 mm korkuinen profilointi
- melujohteissa on oltava kunnon jatkos (limitys seuraavan johteen kanssa, sidelevy tai vastaava, jolla jatkosruuvien reiät saadaan vähintään 70 mm päähän johteen päästä.)
- melujohteiden pituussuuntaisista saumoista ei saa päästä ääntä läpi.

Edellä mainittujen periaatteiden mukaan valmistetun ja asennetun kaiteen kestoikä lienee 30 vuotta ja kaide toimii lähes kuten betonikaide henkilöauton törmäyksessä. Toimintatapa on täysin erilainen kuin tavallisella teräskaitteella. Tällöin kaiteen pinnassa ei tarvita tiekaiteen W-230/4 johdetta. Kaide aloitetaan tyyppiirustuksen Ty3/73 mukaan.



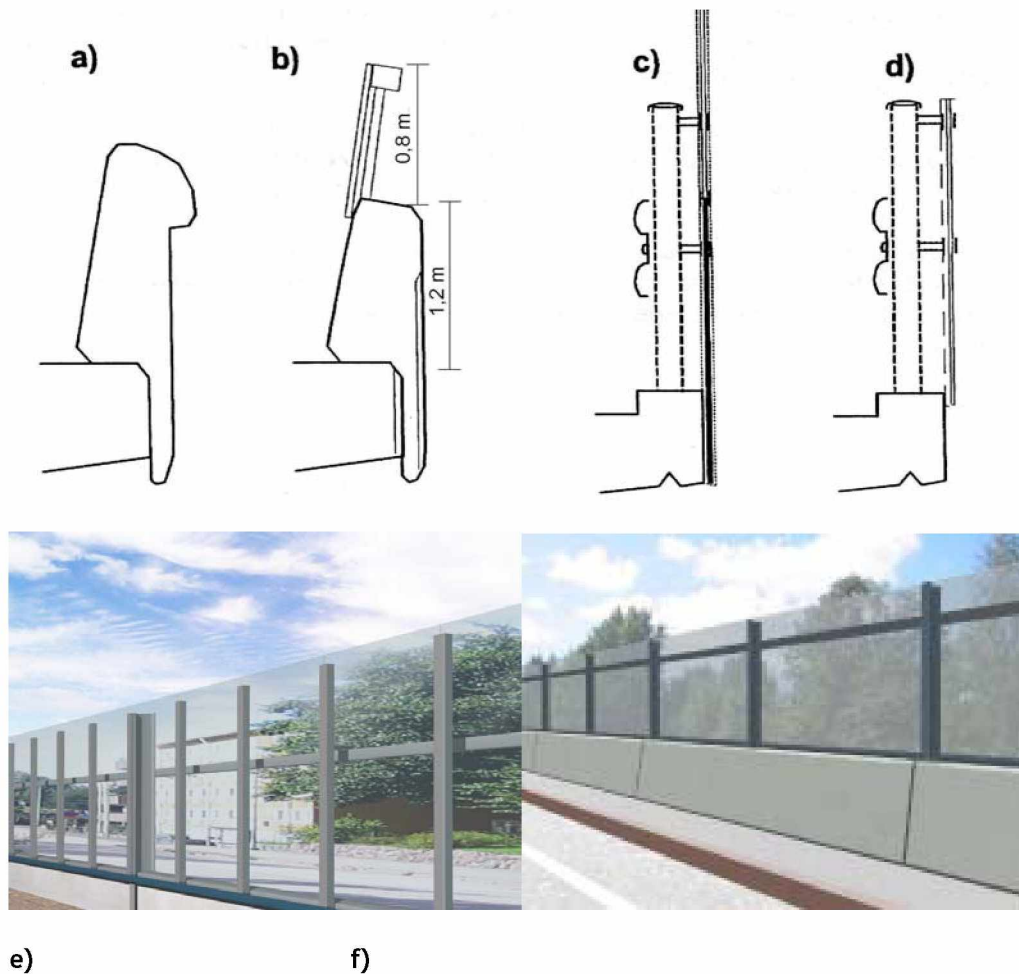
Kuva 9. Melukaide sopii penkereelle ja sillalle. Melukaide on meluseinää parempi tieltä näkyvän maiseman, tien ulkonäön, kustannusten ja lumen aurauksen kannalta, mutta ei ole yhtä tehokas kuin korkea meluste. Uusien melukaidetyyppien kehittäminen edellyttää törmäyskokeita, jos kaidetyypin tarkoitus käyttää moottoriliikenne väylän vieressä. Melukaiteen takapuolen töhriminen estetään tarvittaessa pensailla.

3.6 Läpinäkyvät melusteet

Melusteessa voidaan käyttää myös läpinäkyviä rakenteita. Läpinäkyvällä materiaalilla voidaan

- tarjota näkymä tieltä ympäristöön (kuvan 10 tapaus a...f)
- tarjota näkymä tien toiselta puolelta tielle tai tien toiselle puolelle (d ja e)
- keventää sillan tai melusteen massiivisuutta (a, b, d ja e)
- myös vähentää esim. pihan varjostusta.

Läpinäkyvien materiaalien ongelmaksi on havaittu korkeat ilkivalta- ja muut kustannukset. Ajan kuluessa läpinäkyvyys saattaa heiketä, jolloin meluste koetaan rapistuneeksi. Ilkivaltaongelmien vuoksi läpinäkyviä osia joudutaan paikoin korvaamaan jälkeinpäin muilla ratkaisulla. Jos rikottuja tai töhrittyjä melusteita ei kyetä korjaamaan tai puhdistamaan riittävän nopeasti, läpinäkyvä meluste antaa ikävemmän vaikutelman kuin muut melusteet. Lisäksi rikkiäiset läpinäkyvät materiaalit saattavat aiheuttaa vaaratilanteita. Näistä syistä läpinäkyvien rakenteiden käyttöä tulee tapauskohtaisesti huolellisesti harkita.



Kuva 10 Melusteissa voidaan käyttää läpinäkyviä materiaaleja melukaiteen korotusosana (b ja f), sillankaiteen takana (c ja d), meluseinän yläosassa tai koko meluseinässä (e).

Jos melusteen tarkoituksena on tarjota näkymä autosta ympäristöön, melusteen läpinäkyvyys arvioidaan myös viistoissa katselukulmissa Tiehallinnon ohjeen **Siltojen kaiteet** mukaan.

Kuvan 10 vaihtoehto c ja d ovat törmäysten kannalta ongelmallisia. Ne tulevat kysymykseen korkean nopeuden teillä vain, kun merkittävä maisema on alaviistossa sillalta katsottuna. Kun KVL on yli 6000 ajon/d tapauksessa c) ja d), seinä tulisi kiinnittää reunapalkkiin pystytettyihin pylväisiin irti sillan kaiteesta niin, että kaide voi joustaa 0,4 m rikkomatta seinää. Törmäyksen rikkomien vaarallisten osien putoaminen estetään kohdan 5.2.12 mukaisesti.



Kuva 11. Kohtisuoran pinnan läpi autosta näkyy parhaiten ympäristöön. Läpinäkyvät osat keventävät meluseinärakenteen visuaalista ilmettä.

Suosittelavat läpinäkyvät materiaalit ja niiden ominaisuudet on esitetty kohdassa 5.2.11.

4 Melusteen suunnittelun perusteet

4.1 Melusteen sijoittaminen ja korkeus

4.1.1 Etäisyys tien reunasta

Melusteella saavutetaan useimmissa tapauksissa paras tehokkuus, kun este sijoitetaan mahdollisimman lähelle tien reunaa tai mahdollisimman lähelle suojattavaa kohdetta. Asiaa on havainnollistettu kuvissa 12 ja 15...18. Jos suojattava kohde on pientaloinen ja melko kaukana tiestä, voi olla edullisinta rakentaa lyhyempi meluste suojattavan kohteen lähelle.

Ahtauden tunteen välttämiseksi välttävä meluseinän vähimmäisetäisyys reuna- viivasta on

- moottoriteillä normaalisti 3 metriä
- nopeustason 80...100 km/h teillä $h + 1$ m
- nopeustason 50...70 km/h teillä h , missä h on melusteen korkeus.

Sisäkaarteissa ja liittymien kohdalla varmistetaan vaadittujen näkemien toteutuminen. Liikenteen opastusmerkkien pitää mahtua tien ja korkean melusteen väliin, ellei käytetä ajoradan yläpuolisia opasteita.

Suistumisonnettomuuksien ehkäisyn vuoksi melusteiden suunnittelussa on otettava huomioon seuraavat seikat:

- Kaiteen tarpeellisuus arvioidaan ohjeen **Kaiteen ja suistumisonnettomuuksien ehkäisy (vuodesta 2011 alkaen poikkileikkauksen suunnittelua koskevan ohjeen)** mukaan. Kaiteen ja melusteen väliin tarvitaan 0,5 - 2 m joustovaraa kaiteen tyy- pistä riippuen.
- Kaiteettomilla kohdilla meluseinä tulisi sijoittaa ajorataa ylemmäksi vähintään em. ohjeen edellyttämälle etäisyydelle.
- Kun nopeusrajoitus on vähintään 80 km/h kaiteettomilla kohdilla melusteen ja ajokaistan välinen etäisyys ei saa olla enemmän kuin 3 metriä. Alhaisen nopeus- tason tieosuuksilla (50 km/h tai alle) tämä etäisyys voi olla suurempi.
- Kaiteita koskevat laatuvaatimukset täyttävä melukaide tai auton liukumisen sallii- va luja ja katkeamaton betoni- tai teräsmuuri; tai kauttaaltaan murtuva pilariton meluste voidaan sijoittaa tien reunaan. Melukaiteeseen voidaan tehdä muusta materiaalista korotusosa, mutta korotusosa ei saa pudota vaaraa aiheuttaen.
- Alhaisen nopeuden teillä (40–50 km/h) ja väistämisvelvollisissa liittymissä ei yleensä tarvita suojausta.

Lumen aurauksen vuoksi melusteiden suunnittelussa on otettava huomioon seuraavat seikat:

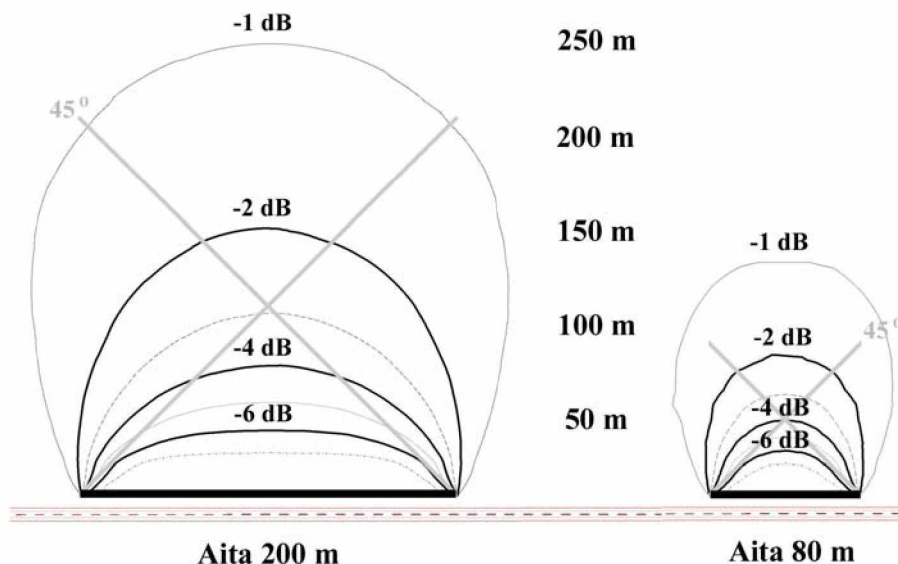
- Tilapäinen vain yksittäiseen lumipyryyn riittävä lumitila on $0,15 \times A$ (A = kyseisel- le puolelle aurattavan alueen leveys). Lumitila ei saa olla pienempi kuin 0,5 met- riä. Tällaisissa tapauksissa suurin osa talven lumista joudutaan kuljettamaan pois, mikä lisää kunnossapidon kustannuksia merkittävästi.
- Välttävistä lumitilasta joudutaan kuljettamaan lunta pois runsaslumisena talve- na, minkä vuoksi siinä on vältettävä pensaita. Välttävä lumitila tien ja melusteen välissä on
 - Etelärannikolla $0,25 \times A$

- Etelä- ja Keski-Suomessa 0,4 x A ja
- Pohjois- Suomessa 0,5 x A
- Tyydyttävästä lumitilasta ei tarvitse kuljettaa lunta pois. Tyydyttävä lumitila tien ja melusteen välissä on
 - Etelärannikolla 0,4 x A
 - Etelä- ja Keski-Suomessa 0,55 x A ja
 - Pohjois- Suomessa 0,7 x A
- Edellä kuvatut lumitilan leveydet voidaan kertoa 0,7:llä, kun lunta voidaan aurata meluseinää vasten.
- Meluste on mitoitettava kestämään aurauksessa lentävän lumen aiheuttamat luvussa 5 määritellyt kuormat, kun etäisyys aurattavasta alueesta on enintään 7 metriä.
- Melukaiteen yli voidaan aurata osa lumesta. Jos heti melukaiteen takana on kevyen liikenteen väylä, lunta ei saa aurata kaiteen yli.

Melusteen ulkonäön parantamiseen tai ilkvallan torjuntaan käytettävät pensaat vaativat vähintään 1 m levyisen tilan. Pensaita ei saa sijoittaa ojan pohjalle eikä paikkaan, josta lumi kannetaan pois.

4.1.2 Melusteen pituus ja korkeus

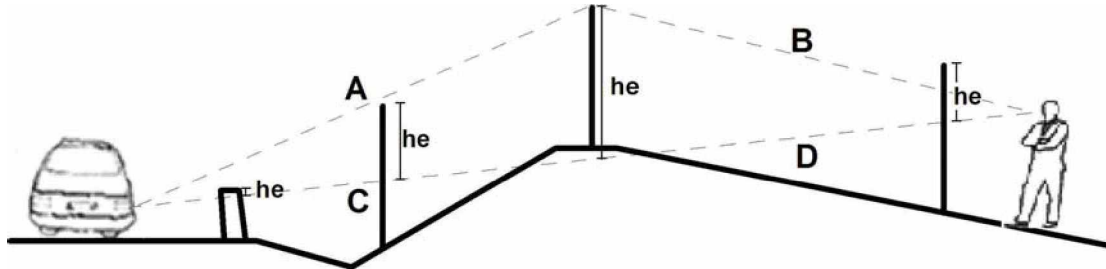
Tasaisessa maastossa, kun pyritään enintään 5 dB vaimennukseen, melusteen pituus voidaan määrittää kuvan 12 avulla. Muissa tapauksissa pituuden tarve tutkitaan melulaskentamallilla.



Kuva 12. Melusteen pituus mitoitetaan tavallisesti niin, että suojattava kohde jää vinojen, 1:1 suuntaisten viivojen väliin. Kuvasta nähdään myös, että esteellä saavutettava vaimennus sen takana on sitä pienempi mitä lyhyempi este on. Kuvassa esteen korkeus on 2 metriä, laskentakorkeus 2 m ja etäisyys tien keskiviivasta 10 m, maan pinta on oletettu pehmeäksi.

Melusteen korkeus on tärkein tekijä sillä saavutettavan vaimennuksen kannalta. Esteen tarvittava korkeus lasketaan melun laskentaohjelmiston avulla.

Melusteen korkeus mitataan tien lähimmästä reunaviivasta, jollei suunnitelmassa ole muuta esitettyä.



Kuva 13. Tehollisella korkeudella (he) tarkoitetaan esteen harjan etäisyyttä melulähdettä ja suojattavaa kohdetta yhdistävältä suoralta. Sen suurentaminen parantaa vaimennusta. Ilman melulaskentamalliakin melusteitä voidaan vertailla laskemalla erotus $(A+B) - (C+D)$. Mitä suurempi se on, sitä parempi vaimennus.

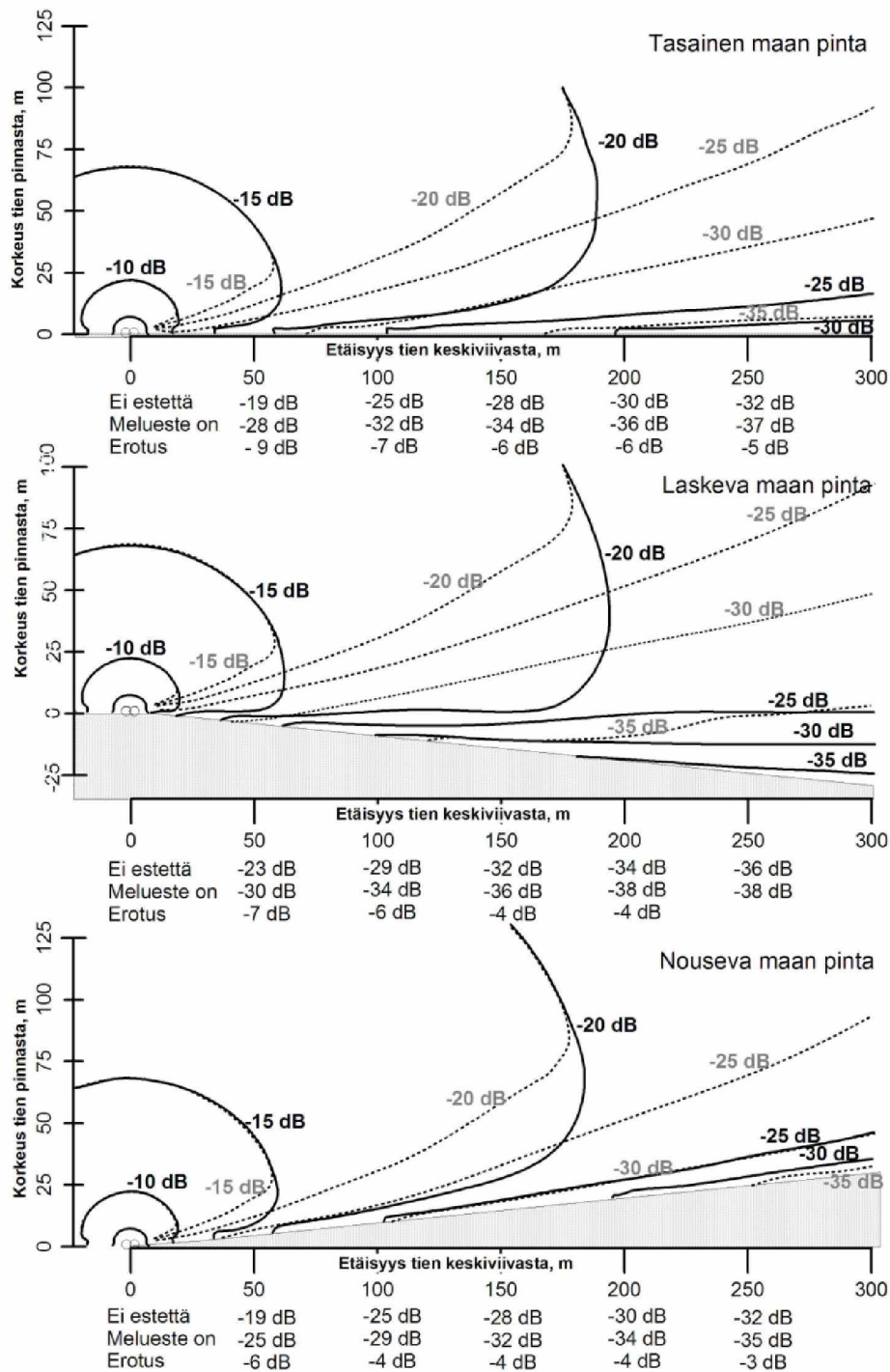
Karkeana yleistysenä melusteen sijoittamisesta voidaan todeta seuraavaa:

- Epätasaisessa maastossa meluste pyritään sijoittamaan paikkaan, jossa esteen tehokas korkeus saadaan suureksi mahdollisimman edullisesti.
- Tasaisessa maassa meluste kannattaa sijoittaa lähelle tietä tai suppean suojattavan alueen tapauksessa lähelle suojattavaa kohdetta.

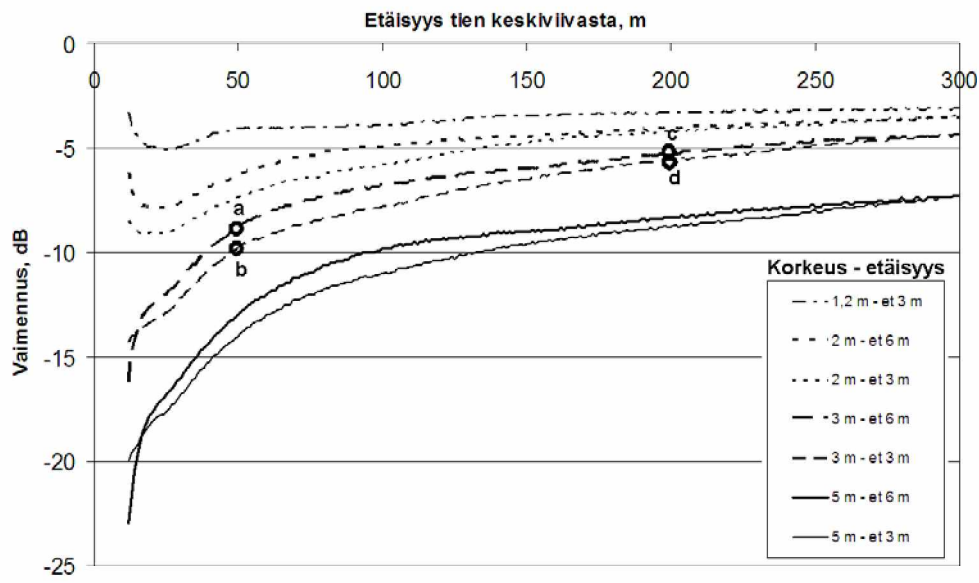
Melu leviää tieltä myös ylöspäin, mikä on otettava huomioon pyrittäessä suojaamaan korkealla sijaitsevia kohteita, kuten kerrostaloja. Pehmeä maan pinta vaimentaa melua lähellä maan pintaa, mikä näkyy kuvassa siten, että lihavoidut käyrät kaartuvat poikkileikkauksessa lähellä maan pintaa voimakkaasti kohti tietä. Melusteiden taakse muodostuu ”varjoalue”, jossa melutasot alentuvat enemmän lähempänä tietä kuin ilman melustettua. Laskevassa maastossa melutasot pienentyvät enemmän lähempänä tietä kuin tasaisessa ja nousevassa maastossa.

Maan pintarakenne vaikuttaa merkittävästi melun vaimenemiseen. Akustisissa laskelmissa maan pinta voi olla joko pehmeä tai kova. Akustisesti pehmeä maan pinta ei heijasta ääntä. Melulaskennoissa akustisesti pehmeäksi maan pinnaksi katsotaan kasvillisuuden peittämät sulat maan pinnat (metsä, pelto, puisto, nurmikko) sekä pehmeän lumikerroksen peittämät maan pinnat.

Akustisesti kovat pinnat heijastavat ääntä. Melulaskennoissa koviksi vaakapinnoiksi katsotaan vesistöt, päällystetyt ja pinnoitetut alueet (asfaltti, betoni- ja kivilaatat). Myös jäänytynyt paljas maapinta voidaan tulkita akustisesti kovaksi.



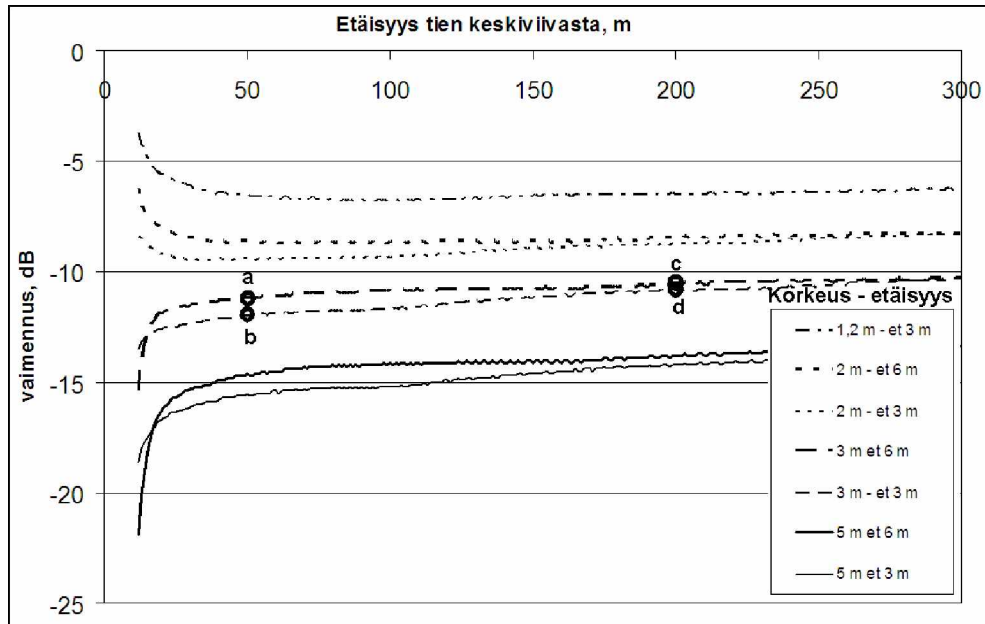
Kuva 14. Pehmeän maan ja meluseinän osuus vaimennuksesta erilaisissa ympäristöissä. Melutasot on esitetty vaimennuksina lähtötasoon verrattuna. Lihavoiduilla numeroilla ja viivoilla on esitetty vaimennukset tilanteessa, jossa ei ole meluestettä. Harmailla numeroilla ja katkoviivoilla on esitetty vaimennukset tilanteessa, jossa tien vieressä on meluste, jonka yläreuna on 2 m tien pintaa korkeammalla. Etäisyysakselin alapuolella on esitetty numeroilla vaimennukset 2 metrin korkeudella maan pinnasta.



Kuva 15. Melusteillä saavutettavat vaimennukset eri etäisyydellä tiestä, kun maan pinta on tasainen ja pehmeä. Kuvassa 2–5 m korkeat melusteet on sijoitettu 6 metrin ja 3 metrin etäisyydelle tien reunasta. Kuvasta nähdään, että

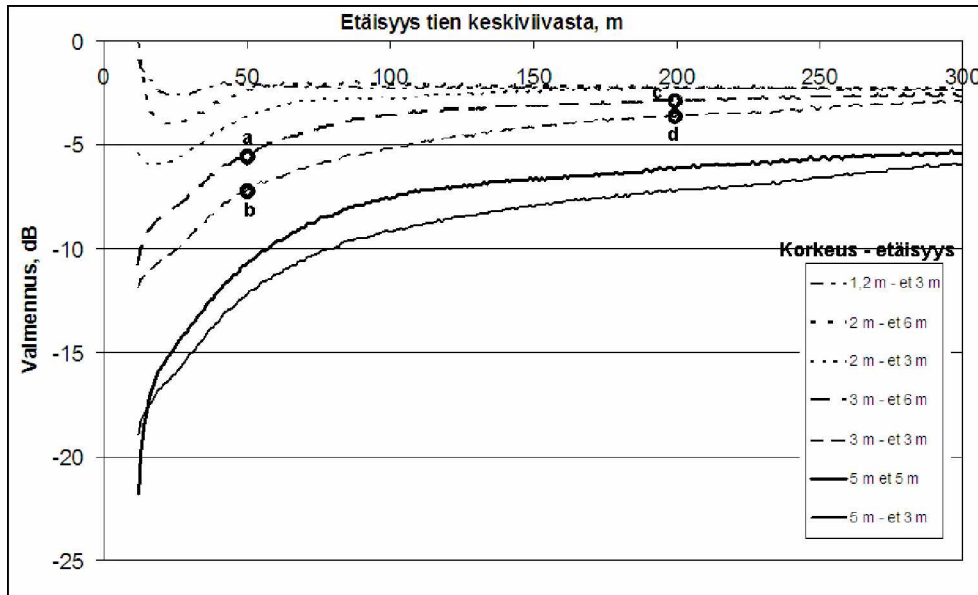
- Melusteiden vaimennus on suurin 10–30 metrin etäisyydellä tien keskiviivasta. Kauempana tiestä esteen korkeuden vaikutus vaimenemiseen on pienempi kuin lähellä tietä.
- Lähelle tien reunaa sijoitettu este vaimentaa tehokkaammin melua kuin kauemmaksi tien reunasta sijoitettu este.
Katsottaessa 3 m korkuisen esteen vaimennusta 50 metrin etäisyydellä tiestä
 - 6 metrin päähän asetetun esteen vaimennus (piste a) on -8,8 dB
 - 3 metrin päähän asetetun esteen vaimennus (piste b) on -9,8 dB.
 Katsottaessa 3 m korkuisen esteen vaimennusta 200 metrin etäisyydellä
 - 6 metrin päähän asetetun esteen vaimennus (piste c) on -5,3 dB
 - 3 metrin päähän asetetun esteen vaimennus (piste d) on -5,6 dB.
 Nähdään, että 50 m etäisyydellä erotus on 1 dB ja 200 m etäisyydellä vain 0,3 dB.

Laskennassa tie on oletettu äärettömän pitkäksi ja tasaiseksi sekä ympäröivän maan pinta tasaiseksi ja pehmeäksi.



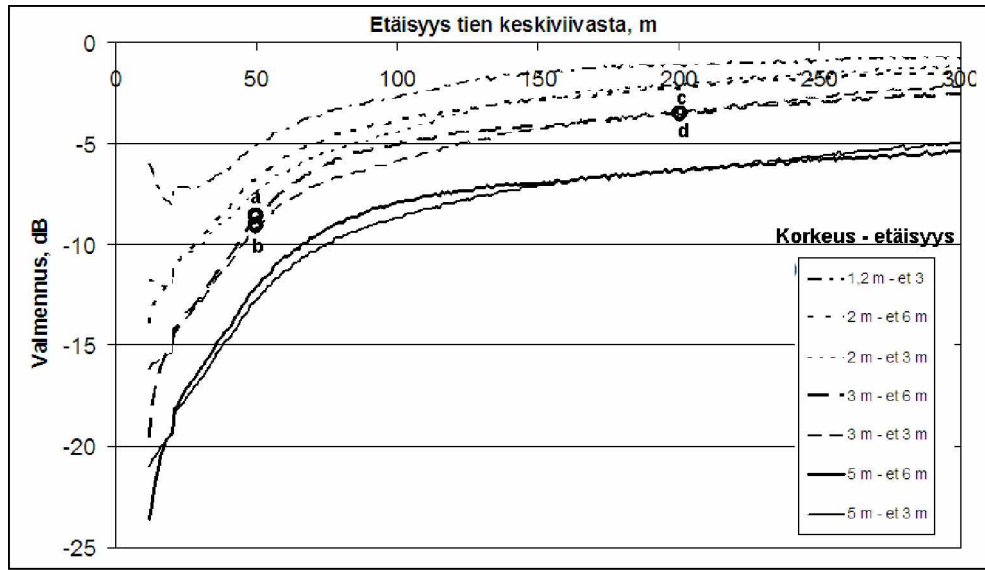
Kuva 16. Melusteillä saavutettavat vaimennukset eri etäisyydellä tiestä, kun maan pinta on tasainen ja kova. Kuvassa 2–5 m korkeat melusteet on sijoitettu 6 metrin ja 3 metrin etäisyydelle tien reunasta.

- Toisin kuin pehmeässä maassa melusteen vaimennus on suuri 300 metrin etäisyydellä saakka, koska maa ei ole vaimentanut ääntä tehokkaasti.
- Melusteillä saavutetaan suurempi hyöty kovalla maanpinnalla kuin pehmeällä maanpinnalla, koska kovalla maanpinnalla suurempi osa äänestä kulkee maaheijastuksen kautta, jonka kulun este katkaisee.
 - 6 metrin päähän tien reunasta asennetulla 3 metriä korkealla esteellä saavutetaan 50 metrin etäisyydellä 11,2 dB vaimennus maan ollessa kova (piste a)
 - Vastaava vaimennus maan ollessa pehmeä on vain 8,8 dB (kuva 15, piste a).
- Kovalla maalla esteen vaimennus säilyy etäisyyden kasvaessa paremmin kuin pehmeällä maalla.
 - 6 metrin päähän sijoitetun 3 metriä korkean esteen vaimennus pienenee siirryttäessä 50 m etäisyydeltä (piste a) 200 m etäisyydelle (piste c) vain 0,6 dB, kun maan pinta on kova
 - Pehmeällä maalla vastaavalla esteellä vaimennus pienenee 3,5 dB.
- Kokonaismelutasot ovat kuitenkin kovalla maalla suuremmat kuin pehmeällä.



Kuva 17. Melusteillä saavutettavat vaimennukset eri etäisyydellä tiestä, kun maan pinta on loivasti nouseva (10 m / 100 m) ja pehmeä. Kuvassa 2–5 m korkeat melusteet on sijoitettu 6 metrin ja 3 metrin etäisyydelle tien reunasta.

- Matalilla esteillä (esteiden korkeudet 1,2 m ja 2 m) saavutettavat vaimennukset jäävät pieniksi lähellä tietä
 - Nousevassa maastossa melukaiteella ja 2 metriä korkeilla esteillä saavutetaan korkeudesta riippuen noin 25 metrin etäisyydellä tiestä 2 dB, 4 dB ja 6 dB vaimennukset
 - Tasaisessa maastossa melukaiteella ja 2 metrinä korkeilla esteillä saavutetaan noin 25 metrin etäisyydellä tiestä 5 dB, 8 dB ja 9 dB vaimennukset
- Alle 50 m etäisyydellä vaimennukset ovat 3–4 dB pienempiä kuin tasaisessa maastossa (vertaa kuvaan 15)
 - nousevassa maastossa 3 metrin etäisyydellä sijaitsevan melusteiden vaimennus on 50 metrin etäisyydellä 7,5 dB (piste b)
 - tasaisessa maastossa 3 metrin etäisyydellä sijaitsevan melusteiden vaimennus on 50 metrin etäisyydellä 9,8 dB (kuvan 15, piste b).
- Esimerkiksi kuvan 15 pisteessä b (50 m) melusteiden osuus vaimennuksesta on 9,8 dB, kun se tässä kuvassa on 7,5 dB. Vastaavasti kuvan 15 pisteessä d (200 m) vaimennus on 5,6 dB ja tässä kuvassa 3,6 dB.
- Nousevassa maastossa meluste on tärkeää sijoittaa mahdollisimman lähelle tietä.
 - Nousevassa maastossa 3 metrin ja 6 metrin päähän tiestä sijoitettujen 3 metriä korkeiden esteiden vaimennukset poikkeavat 2 dB
 - Tasaisessa maastossa 3 metrin ja 6 metrin päähän tiestä sijoitettujen 3 metriä korkeiden esteiden vaimennukset poikkeavat 1 dB.

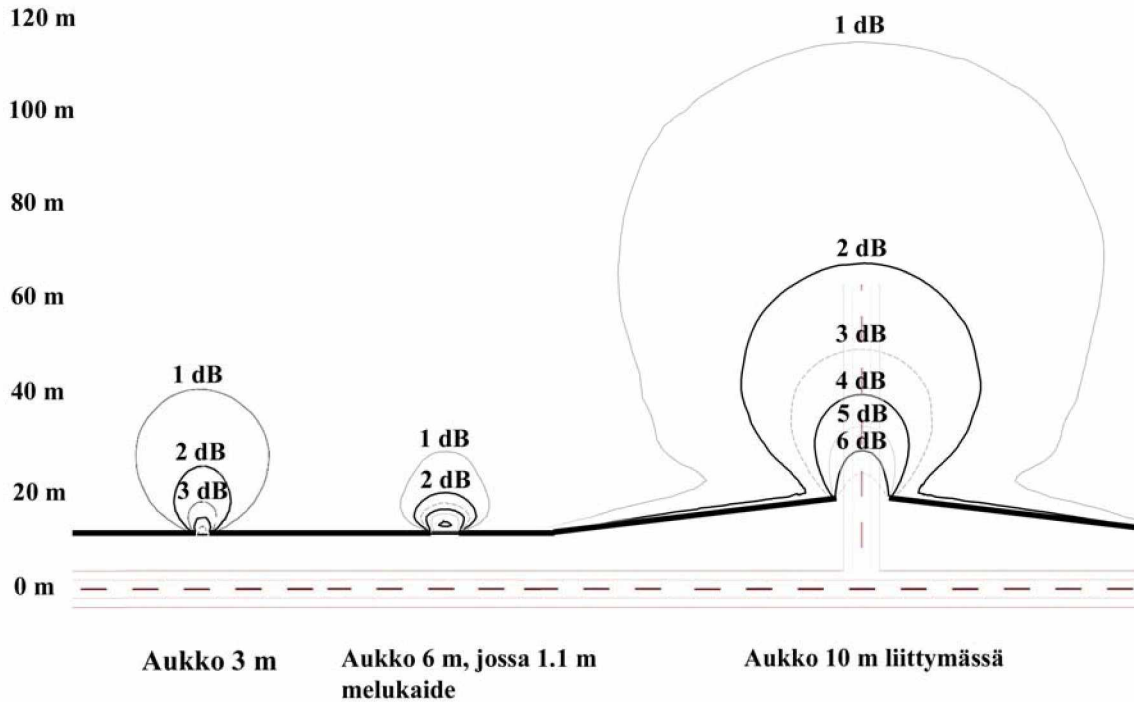


Kuva 18. Melusteillä saavutettavat vaimennukset eri etäisyydellä tiestä, kun maan pinta on loivasti laskeva (10 m / 100 m) ja pehmeä. Kuvassa 2–5 m korkeat melusteet on sijoitettu 6 metrin ja 3 metrin etäisyydelle tien reunasta.

- Laskevassa maastossa matalatkin esteet vaimentavat tehokkaasti melua tien lähialueella alle 50 metrin etäisyydellä.
 - Laskevassa maastossa 3 metrin etäisyydelle sijoitettujen melukaiteen ja 2 metriä korkean melusteiden vaimennukset ovat suurimmillaan noin 25 metrin etäisyydellä noin 8 dB ja 12 dB.
 - Tasaisessa maastossa 3 metrin etäisyydelle sijoitettujen melukaiteen ja 2 metriä korkean melusteiden vaimennukset ovat suurimmillaan noin 5 dB ja 9 dB (kuva 15).
 - Nousevassa maastossa 3 metrin etäisyydelle sijoitettujen melukaiteen ja 2 metriä korkean melusteiden vaimennukset ovat suurimmillaan noin 3 dB ja 6 dB.
- Laskevassa maastossa esteen ja tien reunan välisen etäisyyden vaikutus vaimennukseen on pieni.
 - 6 metrin päähän asennetun 3 metriä korkean esteen vaimennus 50 metrin etäisyydellä (piste a) on -8,7 dB.
 - 3 metrin päähän asennetun 3 metriä korkean esteen vaimennus 50 metrin etäisyydellä (piste b) on -9,2 dB (erotus 0,5 dB).
 - Vastaava erotus tasaisessa maastossa on noin 1 dB (kuva 15) ja nousevassa maastossa noin 2 dB (kuva 17).

4.1.3 Melusteen aloitus ja aukot

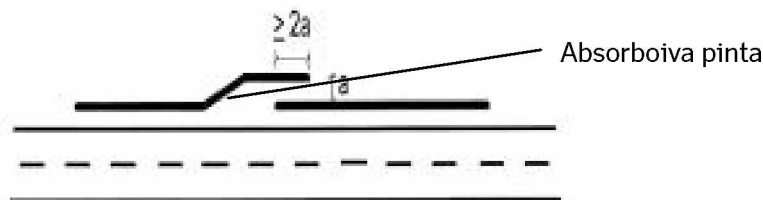
Melusteessa olevat aukot lisäävät melutasoja esteen takana. Aukkojen aiheuttama heikennys vaimennukseen on luonnollisesti sitä suurempi mitä suurempi aukko on.



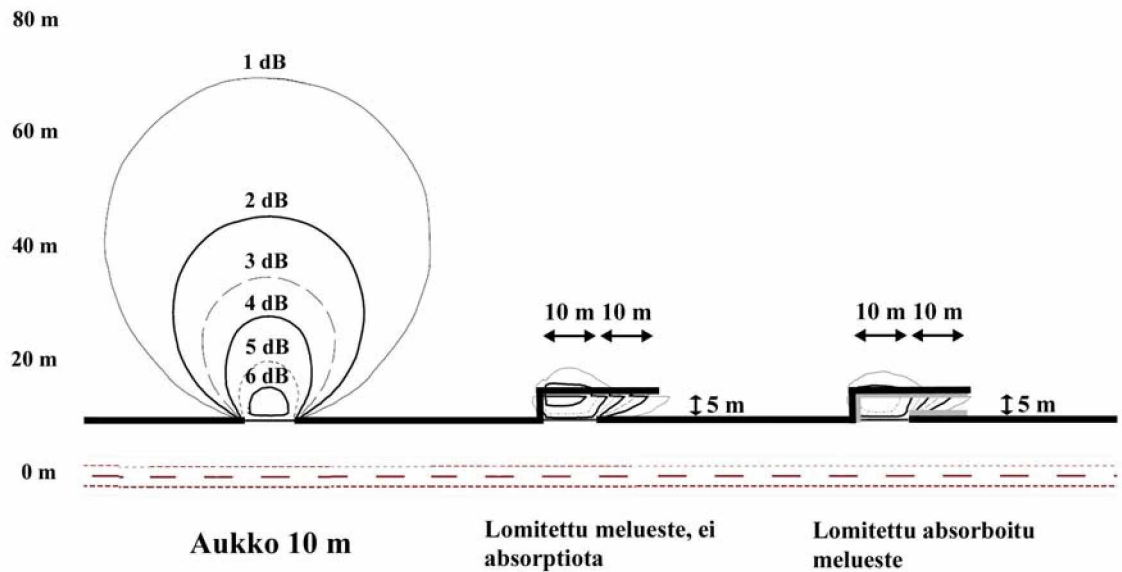
Kuva 19. Melusteessä olevan aukon vaikutus melun lisääntymiseen verrattuna tilanteeseen, jossa meluste olisi yhtenäinen. Melusteessä olevat pienet aukot lisäävät melua havaittavasti 10–20 metrin etäisyydellä aukosta, kauempana aukkojen vaikutus ei ole havaittavissa.

Aukon kohdalla melun koetaan kasvavan keskiäänitason muutosta enemmän, koska melusta erottuu aukon ohittavan auton aiheuttama hetkellinen meluhuippu.

Kulkuaukot mitoitetaan siten, että limityspituus on vähintään 2 kertaa aukon leveys. Limityssuudella vähintään toisen melusteen tulee olla ääntä imevä ($DL_{\alpha} > 8$). Silloin aukon vaikutus on pieni, kun tavoiteltu vaimennus suojattavassa kohteessa on 5–15 dB.



Kuva 20. Melusteen limityksen periaatteet aukon kohdalla. Aukon limitys vaimentaa merkittävästi aukosta kulkeutuvaa melua ja se on suositeltavaa erityisesti kohteissa, joissa esteen takana on melulta suojattavia kohteita.



Kuva 21. Avonaisen aukon ja vastaavanlevyisen lomitetun melusteen vaikutus melun lisääntymiseen verrattuna yhtenäiseen melusteeseen. Tällainen tilanne esiintyy esimerkiksi linja-autopysäkin tai kevyen liikenteen väylän yhteydessä. Melusteen ääntä absorboivat pinnat eivät kasvata esteen toisella puolella melun keskiäänitasoja merkittävästi. Melusteen sisäpuolella esimerkiksi linja-autopysäkillä odottaviin ihmisiin kohdistuvat melutasot laskevat ääntä vaimentavan pinnan vaikutuksesta.

Kuvissa 19 ja 21 melusteen korkeus 2 metriä ja etäisyys tien keskiviivaan 10 metriä, maan pinta on oletettu pehmeäksi. Vaimentumiskäyrät on esitetty keskiäänitasoina, mikä aliarvioi melutason lisääntymistä koettuun melutason nousuun verrattuna.

Meluseinän pää tulisi kääntää sivuun seuraavissa tapauksissa:

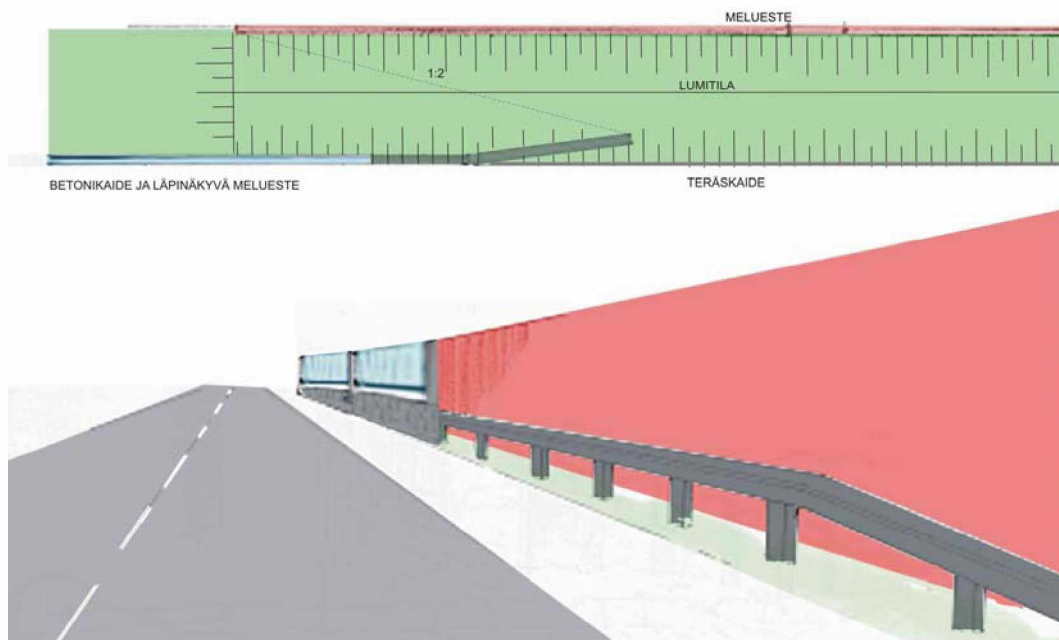
- Kun suojattavan kohteen sijainnin vuoksi melun vaimennustavoite saavutetaan paremmin kääntämällä melusteen päät poispäin tiestä.
- Kun meluseinä tulee vallin jatkeeksi ja seinä halutaan liittää vallin laen jatkeeksi.
- Kun meluseinän alkuun halutaan maisemaa pehmentävää kasvillisuutta.
- Kun melukaiteen tai -seinän etupinta on törmäysturvallinen, mutta pää ei. Etäisyyteen sovelletaan kaiteita koskevista ohjeista annettua suojaetäisyyttä, ellei melusteen päätä upoteta ulkoluiskaan tai ellei käytetä kaidetta. Melukaiteen tai -seinän pää käännetään 1 m kaiteen taakse kuvan 22 mukaisesti, kun melusteen jatkeeksi tulee tiekaide, joka joustaa törmäyksessä 0,5–1,0 m.
- Meluseinän takana on tuulinen aukio, ja melusteen päässä autoihin kohdistuisi yllättäviä tuulia tai on mahdollista, että lumi kinostuu melusteen päiden kohdalle.

4.1.4 Meluste sillalla

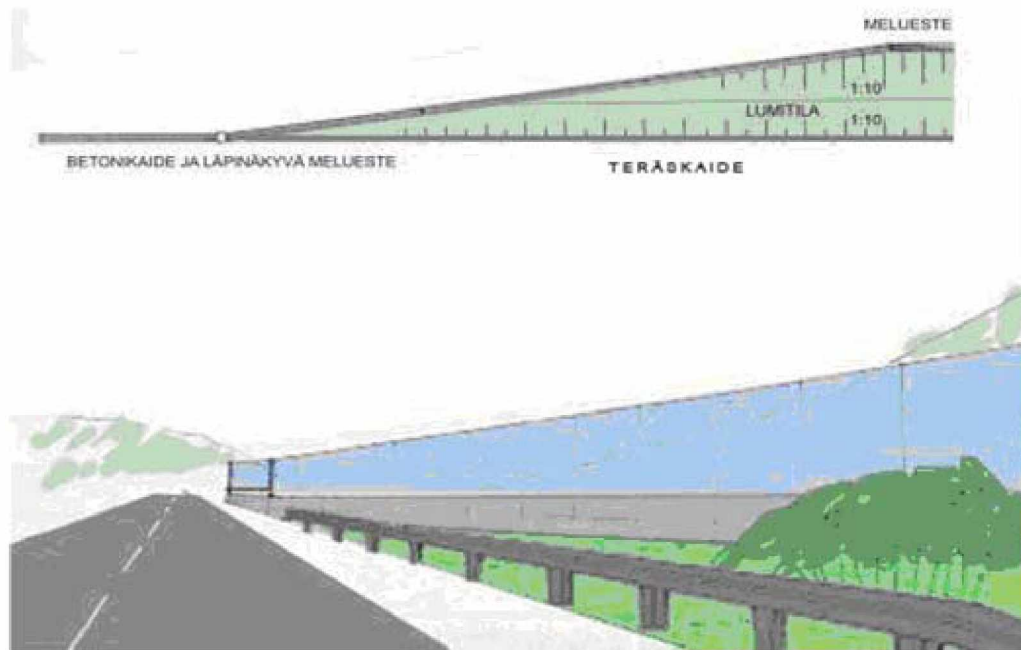
Sillalla käytetään ensisijaisesti (tavallista sillankaidetta jäykempää) melukaidetta, johon tehdään tarvittaessa korotusosa. Vaihtoehtoisesti käytetään tavallista hyväksyttyä sillankaidetta, jonka takana on kevyt meluste. Tällöin melusteen putoaminen estetään tilanteissa, joissa törmäävä auto voi aiheuttaa sillankaiteeseen 0,5 m pullistuman. Sillankaiteen ja melusteen väliin kertyy paljon roskaa ja likaa, jota on vaikea poistaa.

Silloissa melusteen ja sillan reunapalkin yhteensovittaminen on vaikeaa. Käytännössä yrityksistä huolimatta väriin tulee huomattava ero ja saumoihin tulee tahattomia porrastumia. Tästä syystä on usein ulkonäön kannalta varmintaa maalata koko reunapalkki samalla värillä kuin meluste. Toinen vaihtoehto on tehdä meluste selvästi eriväriseksi ja porrastaa saumakohtat selvästi. Myöskään jälkivaluja ei saada samanvärisiksi kuin aikaisemmin valettu betoni.

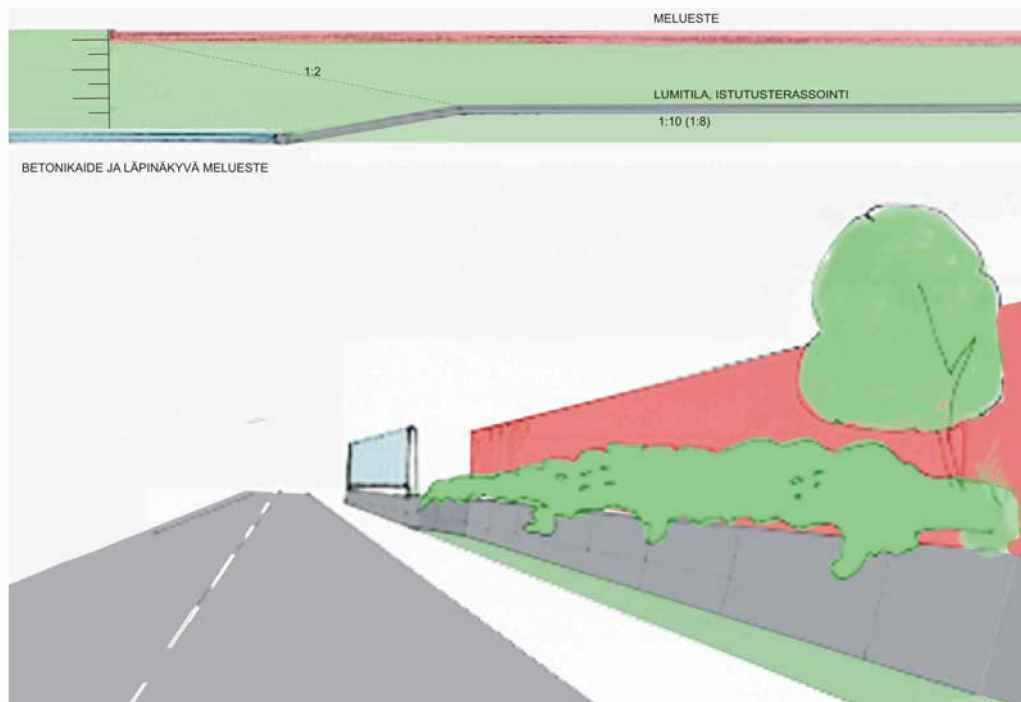
Tekniseltä kannalta betonikaide voidaan korvata samanmuotoisella reunapalkin peittävällä teräskaiteella, joka kiinnitetään ruuvilla reunapalkkiin.



Kuva 22. Penkereen meluste ja sillan melukaide ovat eri linjassa. Törmäminen melukaiteen päähän on estetty tiekaiteella (joka joustaa 0,5–1,5 m törmäyksessä). Tällöin melukaiteen pää on käännettävä vähintään 1 m tiekaiteen taakse. Melukaiteen ja meluseinän välissä voidaan sallia aukko, jos ne limitetään riittäväällä matkalla ja toinen pinnoista on ääntä absorboiva. Melukaiteen päällä on kuvassa läpinäkyvä korotusosa. Usein sen tilalla on parempi käyttää läpinäkyvää materiaalia. Aina korotusosaa ei tarvita.



Kuva 23. Meluseinä käännetään viistosti sillalle. Sillalla ja siirtymäosalla melusteen alaosana on betonikaide. Maiseman arvosta ja ilkvallan määrästä riippuu, käytetäänkö yläosassa läpinäkyvää vai muunlaista materiaalia. Tässä vaihtoehdossa vältetään tiekaiteen käyttö sillan kohdalla ja ulkoon kannalta hankala liitos melukaiteeseen. Maisemat menetetään, jos läpinäkyvää materiaalia ei voida käyttää, koska aukko ei ole mahdollinen melun leviämisen vuoksi.



Kuva 24. Kuva eroaa kuvasta 22 vain siinä, että betonikaide jatkuu meluseinän edessä. Menettely vähentää lumitilaa.

4.1.5 Muut sijaintiin vaikuttavat asiat

Meluestettä sijoitettaessa tutkitaan melusteen vaikutus tieltä näkyvään maisemaan ja ulkopuolelta näkyvään maisemaan karttatarkastelujen ja havainnekuvien avulla.

Meluseinää ei pitäisi sijoittaa aivan samansuuntaisen rakennuksen seinän viereen. Meluste voi kuitenkin tulla rakennuksen seinän jatkeeksi. Meluseinänä voi toimia myös esimerkiksi autotallin seinä.

Puistoissa tai piholla melusteesta voi olla muutakin hyötyä: valli voi olla pihan suuntaan esimerkiksi liukumäki, korkeaan seinään voi liittyä ulkoiluvälineitä tai ulkoiluvälinesuojia jne. Lasten putoaminen, liukuminen tai juokseminen tielle on estettävä.

Suuria tasaisia pintoja tulee välttää piha-alueella ja kevyenliikenteen väylien vieressä, koska ne saattavat rohkaista pallopeleihin melustettä vasten. Tässä tapauksessa vaarana on, että pallo ylittää melusteen ja osuu ajoneuvoon tätä vahingoittaen sekä pelästyttäen kuljettajan. Lisäksi vaarana on, että pallon heittäjä, usein lapsi, noutaa pallon tiealueelta.

Kevyen liikenteen väylän kohdalla meluste tulee tavallisesti ajoradan ja kevytliikenneväylän väliin. Jotkut saattavat tuntea olonsa turvattomaksi yöllä, jos autotieltä ei näy kevyen liikenteen väylälle. Liittymissä meluste sijoitetaan kuitenkin näkemien vuoksi riittävän kauas tiestä.

Meluste ja siihen liittyvät maatyöt pitäisi tehdä olemassa olevaa kasvillisuutta mahdollisimman paljon säästäen. Liian tiheä pensas kuitenkin vaikeuttaa roskien keräämistä.

Melustettä ei pitäisi rakentaa tiensuuntaisten viemäreiden tai muiden johtojen päälle. Meluste sijoitetaan niin, että kaikki valaisinpylväät voidaan sijoittaa melusteen eteen tai kaikki melusteen taakse.

Perustamiskustannusten rajoittamiseksi on syytä välttää mm. epävakaita rinteitä ja luiskia, herkästi painuvia pehmeiköitä sekä painuvia täyttöalueita. Meluvallit sietävät aitoja paremmin epätasaisia painumia, mutta vallin paino voi vaikuttaa viereisiin rakenteisiin. Joskus meluvalli voi toimia vastapenkereenä. Vallin jälkipainuminen tulee ottaa huomioon meluvallia rakennettaessa.

Melusteen sijainti määritetään ensisijaisesti esteellä saavutettavan melusuojausten perusteella. Tämä sijainti ei välttämättä ole paras vaihtoehto rakentamisen tai kunnossapidon kannalta. Melusteen suunnittelussa tulisikin miettiä myös melusteen saavutettavuutta. Jos melusteen ainoa sijaintivaihtoehto on sellainen, ettei sitä ole helppo saavuttaa, tulisi melusteen materiaalit ja rakenteet valita sellaisiksi, ettei niitä tarvitse huoltaa tai korjata usein. Melusteita joudutaan puhdistamaan koneellisesti tai korjaamaan, jolloin työajoneuvo pitäisi saada sijoitettua turvallisesti melusteen läheisyyteen. Sijoituspaikka voi vaihdella melusteen eri puolilla. Sijoituspaikkoja pitää olla vähintään 100 metrin välein.

Aukeilla paikoilla meluste voi kinostaa. Tuulen aukiolta tuoma lumi kinostuu melusteen toiselle puolelle, eniten alueelle, jonka leveys on noin 4 kertaa melusteen korkeus. Jos riittävää etäisyyttä tiestä melusteeseen ei voida saavuttaa, aukiolta tuleva lumi pitäisi kinostaa pensaiden avulla ennen melustetta.

4.1.6 Ilkivalta, töhryt ja niiltä suojautuminen

Ilkivallalta suojautuminen

Yleisimmät ilkivallan muodot ovat töhriminen ja rikkominen. Melusteet voivat pysyä puhtaana vuosia, jonka jälkeen töhriminen tai rikkominen voi alkaa yhtäkkiä. Paikallisesti ilkivaltaa on eniten koulujen, bussipysäkkien ja asemien lähellä. Ilkivaltaa on erityisesti kohdissa, joissa mahdollisimman monet ihmiset näkevät töhryt ja vauriot.

Töhrimistä voidaan vaikeuttaa seuraavin keinoin:

- valitaan materiaalit ja rakenteet siten, että ne ovat helposti puhdistettavissa
- peitetään meluseinä tiheällä pensasrivillä tai tiheästi istutetuilla puilla, joissa on oksia alhaallakin
- käytetään meluvallia
- puhdistetaan meluste nopeasti, mikä edellyttää helposti puhdistettavaa (sileää maaleja hylkiväksi käsiteltyä) tai helposti vaihdettavaa pintaa; kesällä toimii myös päällemaalaukset (ei läpikuultavilla suoja-aineilla käsitellyille pinnoille).
- vaikeutetaan pääsyä melusteen luokse tihein piikkisin pensain (jo uutena) tai kaivannon avulla
- vältetään suuria tasaisia pintoja melusteessä
- vaikeutetaan piirtämistä käyttämällä uritettuja tai ritilämäisiä pintoja tai sijoittamalla verkko tai ritilä melusteen eteen
- lisätään kiinnijäämisriskiä välttämällä pimeitä tai suojaisia soppia ja välttämällä valaistuksen yösammutusta.

Töhrimistä on vähiten omakotitalojen pihossa ja paikoissa, joissa on jatkuva valvonta ja vähän katsojia. Runsas öinen liikenne vähentää töhryjä.

Rikkomista voi vähentää myös riittävän lujilla rakenteilla. Luiskia ei saa verhoilla kiviheitokkeella (heittämiseen sopivilla kivillä).

Töhrimisen vähentämiseksi voidaan vaatia vähintään 40 mm syvyinen pystyuritus tai ritilä. Tällöin vaakasuuntaisissa urissa, ritilöissä tai niiden välissä ei saa olla yli 70 mm korkuista piirtämiskelpoista pintaa, eikä pystysuorissa yli 100 mm levyistä pintaa. Töhrimisen vähentämiseen tarkoitettujen urien tulee olla vähintään 25 mm syvyisiä ja niiden tulee olla viistettyjä.

Suojaverkolla tai -ritilällä voidaan vähentää töhrimistä, heitettyjen kivien aiheuttamia iskuja ja lintujen törmäilyä. Verkko voi toimia myös köynnösten kiinnittymiskohtana. Sillalla tienpuoleinen verkko suojaa lisäksi aurauksen aiheuttamilta iskuilta ja ulkopuolinen verkko voi estää levyjen putoamisen, jos kuorma-auto töytäisee kaidetta. Verkon metallisen materiaalin vähimmäispaksuus on 4 mm. Verkon silmän leveyden tai korkeuden tulee olla enintään 40 mm, ja pinta-alan enintään 200 mm². Kiipeämisen estämiseen tarvitaan enintään 30 mm levyinen silmä. Sillan melusteen ulkopinnassa riittää harvempi verkko. Verkon etäisyys melusteen pinnasta tulee olla vähintään 200 mm.



Kuva 25. Lasiosien suojaamiseksi käytetään usein teräsverkkoa. Sen kiinnitysdetailit on suunniteltava huolella.

Tienpitäjän on voitava irrottaa verkot riittävän helposti puhdistusta varten. Lasin osalta kehykset ovat verkkoa tärkeämpi suojakeino.

Liikenneväylän yläpuolella on estettävä suurten materiaalikappaleiden putoaminen sillalta. Tähän käytetään verkkoa tai levyn nurkkiin kiinnitettyä ketjua tai vaijeria. Osiensa putoamisesta on kerrottu enemmän luvussa 5.2.12.

Töhrysten poisto ja suoja-aineet

Töhrysten puhdistettavuuteen on usein kiinnitettävä huomiota varsinkin kaupunkialueella sijaitsevan melusteen suunnittelussa. Mitä vähemmän puhdistettavassa kohdassa on epätasaisuuksia tai huokosia, sitä helpompi on töhryt poistaa. Karhennetut epätasaiset pinnat ja tumma väritys sekä edessä oleva kasvillisuus ehkäisevät töhryjen tekemistä enemmän kuin tasaiset esteettömät pinnat tai vaalea väritys. Suuria tasaisia pintoja tulee välttää.

Mahdollisten töhryjen nopea poisto saattaa vähentää töhryjen määrää, varsinkin jos töhriminen on jäänyt keskeneräiseksi.

Suojaamattomalle betoni- tai harkkopinnalle tehty töhry imeytyy syväälle materiaaliin, jolloin sen täydellinen poistaminen on lähes mahdotonta. Tämän vuoksi em. materiaaleista ja puisissa melusteissa värittömällä puunsuoja-aineella tehdyissä melusteissa pitää käyttää töhryjen suoja-aineita. Töhryjen suoja-aineet eivät saa vahingoittaa melusteen materiaaleja.

Puisissa peittävästi maalatuissa melusteissa töhry voidaan peittää myös samalla peittomaalilla, jolla meluste on aiemmin käsitelty. Maalauksessa pitää noudattaa maalauksen laatuvaatimuksia, jotka on esitetty kohdassa 5.3.8.

Melusteiden betonipinnat tulee suojata töhryiltä 30 cm korkeudelta ylöspäin.

Metallirakenteisissa melustekaseteissa suositeltava pinnoitusjärjestelmä on PVDF-polyvinyyliideenifluoridi. PVDF:n käyttöala on laaja sen kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksien ansiosta. Tavanomaiset maalit lähtevät PVDF-pinnoituksesta vesiliukoisilla puhdistusaineilla. Puhdistettavuutta voidaan edelleen parantaa käyttämällä antigrffitipinnoitteella käsiteltyjä PVDF-pinnoitteita. Näiden saatavuus on varmistettava valmistajilta.

Erilaisia suoja-aineita on markkinoilla useita erilaisia. Suoja-aineet jakautuvat kahteen ryhmään: Pysyviin ja uhrautuviin. Pysyvät suoja-aineet säilyvät melusteen pinnassa, vaikka sitä puhdistettaisiin kuumalla vedellä tai kemiallisilla aineilla. Pysyvät suoja-aineet vaativat yleensä vähintään kolme ainekerrosta. Uhrautuvat suoja-aineet irtoavat melusteen pinnasta, kun töhryä puhdistetaan, jolloin pinta vaatii suoja-aineen uudelleenkäsitelyn puhdistuksen jälkeen. Tapauskohtaisesti voidaan valita, kumpaa suoja-ainetyyppiä melusteessa käytetään. Käytetty suoja-aine pitää olla tilaajan hyväksymä ja tieto suoja-aineen käytöstä pitää kirjata muistiin, jotta vältetään tilanteita, joissa melusteessa ei ole asianmukaista suoja-ainetta.

Mahdolliset töhryt poistetaan joko kemiallisilla puhdistusaineilla, hiekkapuhaltamalla tai päälle maalaamalla. Poistoainetta tai -menetelmää valittaessa on selvítettävä, ettei aine vahingoita alla olevaa pinnoitetta. Aine ei saa oleellisesti muuttaa puhdistettavan pinnan tai suojakerroksen ominaisuuksia ja ulkonäköä eikä turmella luontoa. Töhryjen poistoon erikoistuneilla yrityksillä on yleensä hyvä tuntemus nykyaikaisista töhryjen poiston menettelyistä ja kemikaaleista.

Töhryjen suoja- ja poistoaineista on esitetty yksityiskohtaisemmin Tiehallinnon **SILKO-ohjeessa 1.251**.

Betonisiin melusteisiin saa käyttää ainoastaan Tiehallinnon **SILKO-ohjeen 3.251** mukaisia hyväksytyjä töherrystenestoaineita. Muista materiaaleista tehtyjen melusteiden töhryjen poistoon soveltuvat menetelmät on selvítettävä materiaalin valmistajalta.

4.2 Meluesteen arkkitehtuuri ja sovittaminen ympäristöön

4.2.1 Meluesteen arkkitehti- ja ympäristösuunnittelu eri suunnitteluvaiheissa

Meluesteen toteuttamisprosessin eri vaiheissa sen arkkitehtuuria ja sovittamista ympäristöön viedään eteenpäin soveltuen kunkin työvaiheen näkökulmaan ja tarkkuustasoon.

Yleissuunnitteluvaiheessa laaditaan meluesteiden arkkitehtisuunnitelmat ja sovittaminen ympäristöön. Kohteesta laaditaan ympäristöanalyysi ja määritellään sen perusteella arkkitehtuurin ja ympäristöön sovittamisen tavoitteet ja keinot.

Meluesteistä laaditaan yleissuunnitelmat julkisivuista. Suunnitelmissa esitetään julkisivujen näkyvät materiaalit ja värit sekä meluesteisiin liittyvät maastonmuotoilut ja kasvillisuuden tyyppimääritelmät. Tarvittaessa laaditaan lisäksi havainnekuvat tai valokuvasovitteet. Suunnitelmat laatii arkkitehti, ympäristösuunnittelija ja rakennesuunnittelija yhteistyössä. Tätä materiaalia hyödynnetään sidosryhmäkeskusteluissa ja meluesteiden hyväksyttämisen prosessissa. Tässä suunnitteluvaiheessa on suositeltavaa sopia arkkitehtuurin sopivuudesta kaupunki- tai maisemakuvaan kohdepaikkakunnan kaupunkikuvasta vastaavan viranomaisen kanssa. Julkisivun materiaalit ja ulkonäkö pitää käsitellä sillä tarkkuudella kuin maankäyttö ja rakennuslaissa vaaditaan.

Rakennussuunnitteluvaiheessa laaditaan meluesteiden rakennussuunnitelmat ja esteiden lähiympäristön ympäristösuunnitelmat. Rakenteelliset meluestesuunnitelmat laatii rakennesuunnittelija ja arkkitehti toimii siinä konsultoivana asiantuntijana. Ympäristösuunnittelija laatii maastonmuotoilu- ja istutussuunnitelmat yleisten ohjeiden mukaisesti.

4.2.2 Meluesteen sovittaminen kaupunkikuvaan ja ympäristöön

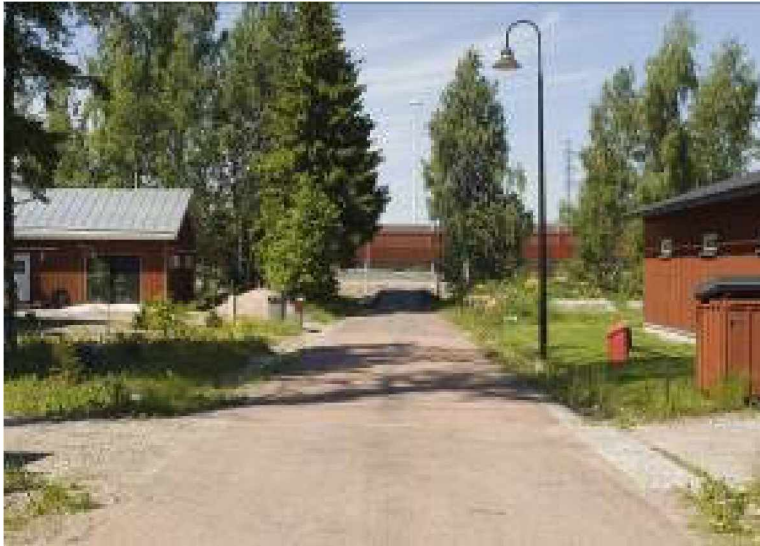
Meluesteiden sovittamisessa kaupunkikuvaan ja ympäristöön lähtökohtana on ympäristön arvoluokitus, joka on kuvattu **siltapaikkaluokitusohjeessa**. Tätä tarkastelutapaa suositellaan sovellettavaksi myös meluesteiden ympäristön arvon tarkastelussa.

Jos meluestekokonaisuuteen kuuluu kasvillisuutta, sen helppohoitoisuuteen tulee kiinnittää huomiota. Suuriksi kasvavia puita tai pensaita tulee välttää tai niille tulee varata riittävästi kasvutilaa. Suuret puut saattavat olla ajoneuvotörmäyksessä hengenvaarallisia.

Talvikunnossapitokoneet saattavat vaurioittaa liian pieniä puita ja pensaita, mikä pitää ottaa huomioon suunniteltaessa istutuksia.

Ohjeessa ympäristöt luokitellaan sijainnin, kulttuuriarvon ja maisema-arvon perusteella neljään arvoluokkaan, jonka pohjalta määritellään kohteen esteettiset tavoitteet. Sijaintipaikan arvon mukaan esteettinen laatupanostus voi olla tilanteesta riippuen normaalia suurempi. Ympäristön arvoluokat on määritelty siltapaikkaluokitusohjeessa seuraavasti:

- *Luokka I, erittäin vaativa*, valtakunnallisesti arvokkaat ympäristökohteet, kulttuuriympäristöt tai merkittävät liikenneväylät.
- *Luokka II, vaativa*, seudullisesti tai paikallisesti arvokkaat ympäristökohteet, kulttuuriympäristöt tai liikenneväylät. Merkittävät taajamakohteet.
- *Luokka III, huomattava*, vilkkaat liikennekohteet, taajamien reunavyöhykkeet.
- *Luokka IV, tavanomainen*, taajamien ulkopuolelle sijoittuvat tavanomaiset maisemat.



Kuva 26. Alueen tyyli ja arkkitehtuuriaiheet voivat olla lähtökohtana melusteen materiaalien ja värien valinnalle.



Kuva 27. Korkeammastakin meluseinästä voidaan saada esteettinen. Pystyrimoitus alhaalla estää kiipeämisen. Melusteen korkeus kuvassa on noin 5 metriä.

4.2.3 Meluestetyypin ja arkkitehtuurin valintakriteerit

Ympäristöllisen arvon määrittelyn yhteydessä analysoidaan kohteen kaupunki- ja maisemakuvallinen luonne ja tyyli. Suljetussa maisematilassa meluste on sovitettava osaksi näkymää peittävää ympäristökuvaa, kun taas avarassa maisematilassa melusteen näkyvyys korostuu.

On muistettava, että melustetta katsotaan väylän puolelta liikkeessä, jolloin ajonopeus vaikuttaa arkkitehtuurin aiheiden mittakaavan valintaan. Kevytliikenneväylällä kulkunopeus on hitaampaa ja yksityiskohtia ehtii huomata enemmän. Melusteiden yksityiskohtiin ei ole tarpeellista panostaa nopeilla tiejaksoilla. Mikäli meluste rajautuu korttelialueeseen, on varmistettava sopivuus piha-alueiden ympäristöaiheisiin.



Kuva 28. Erilaisia meluestetyyppejä; puuverhoiltu betonielementti ja teräskasetti

Jos tilaa on käytettävissä, on suositeltavaa harkita ensisijaisesti meluvallia ja sen istuttamista ympäristöön soveltuvilla kasveilla. Meluvallia ja aita sen päällä lisäkorotuksena pidetään yleensä taajaman reunavyöhykkeen maisemakuvaan sopivana ratkaisuna. Meluseinä on ahtaiden tilojen sekä taajamakeskustan ratkaisu.

Läpinäkyvät melusteet ovat vaikeita ylläpitää ja hoitaa sekä niitä töhritään herkästi. Tästä syystä läpinäkyviä jaksoja suositellaan vain kohtiin, joissa näkymä ympäristöön on erityisen merkittävä tai kun pitkään melustejaksoon tarvitaan vaihtelua. Läpinäkyvien osien käyttöä suositellaan harkitusti massiivisten ja pitkien meluseinien keventävänä aiheena seinän yläosassa tai kulmakohdissa poikittain väylälle, jolloin niiden kunnossa pysyminen on paremmin turvattu. Läpinäkyvien materiaalien hyödyistä ja haitoista on kerrottu kappaleessa 3.6 sekä materiaalivaatimuksista kohdassa 5.2.11.

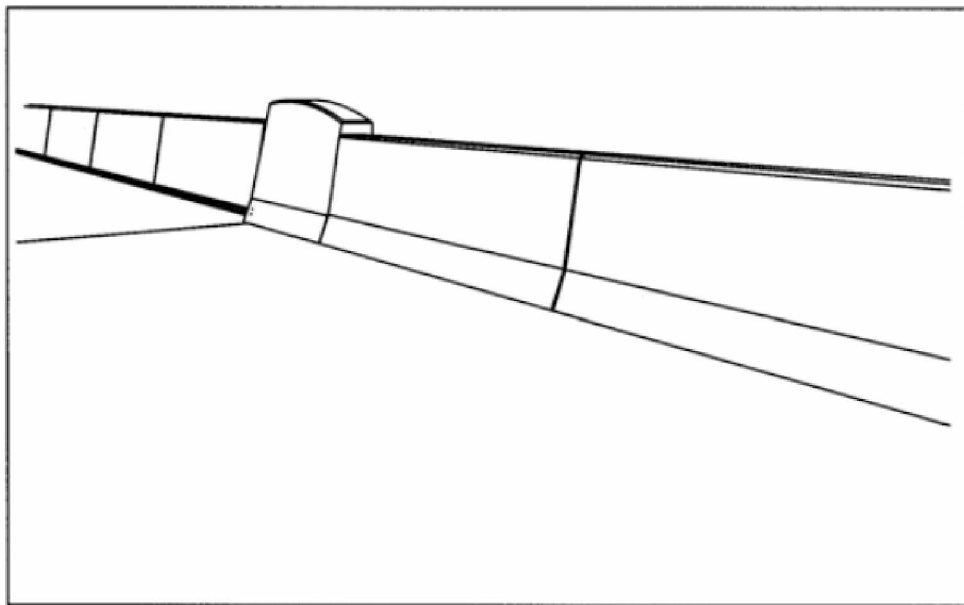
Meluseinän pilarivälin valinta on oleellinen ulkonäköön vaikuttava aihe, ellei pilareita haluta kokonaan peittää. Arkkitehti esittää kokonaisuuteen soveltuvan pilarivälin, jota urakoitsija noudattaa myös urakassa, joka sisältää suunnittelun. Tarvittaessa toteutuksessa voidaan käyttää valepilareita vaaditun ulkonäön toteuttamiseksi, jolloin perustukset tulevat vain joka toiseen tai kolmanteen pilariin. Seinäelementin jännemitta on silloin pilarivälin monikerta. Tavanomaisia pilarivälejä ovat 4, 5 ja 6 m. Pilarinvälin vaikutusta kustannuksiin on käsitelty kohdassa 4.3.

Melukaiteiden ja -seinien detaljit ovat tärkeitä arkkitehtisuunnittelun kohteita. Kiinnitysosien minimointiin ja näkyvien osien viimeistelyyn on syytä paneutua yhdessä rakennesuunnittelijan kanssa. Melusteiden visualisointiin on olemassa ohjelmia, joilla voidaan konkretisoida melusteen värivalintaa ja ulkonäköä.

4.2.4 Yksityiskohtien merkitys arkkitehtuurissa

Jotta arkkitehtuurin yleisilme toteutuisi, myös yksityiskohdat on suunniteltava ja toteutettava huolellisesti. Erityistä huomiota tulee kiinnittää melurakenteen sijainnin suoralinjaisuuteen, sillä pienikin poikkeama aiheuttaa ajajan näkökentässä mutkan vaikutelman.

Ulkonäön säilymiseksi meluseinän tai kivikorin perustukset on suunniteltava painumattomaksi. **Melukaide voidaan perustaa tien varaan. Tällöin rajoitetaan tarvittaessa tien painumista, sillä painumat näkyvät erityisen häiritsevästi melukaiteen yläpinnassa, jossa on pitkiä tähtäyslinjoja. Tällöinkin on suositeltavaa katkaista näkölinja kuvan 29 mukaisesti ja tehdä liitokset niin, että mahdollisesti painuneen penkereen kaide voidaan oikaista.**



Kuva 29. Sillan melukaiteen ja penkereen melukaiteen väliin voidaan tehdä elementti, joka häivyttää melukaiteen ja penkereen välistä korkeuseroa.

Kuumasinkittyjen teräsosien maalaus rapistuu, mikäli kuumasinkitystä ei ole käsitelty oikein ennen maalausta. Kuumasinkittyjen teräsosien maalaus tulee suorittaa Infra-RYL:n mukaan. Myös Tiehallinnon ohjeessa **SILKO 2.354** ja ohjeessa **PSK 2702** on annettu yksityiskohtaisia ohjeita maalaustyön suorittamiseksi.

Läpinäkyvien osien ongelmana on lasin rikkoutumisherkyys ja akryylin himmenemisherkkyys. Arkkitehtisuunnittelun yhteydessä on määriteltävä läpinäkyvän materiaalin tyyppi ja paksuus, joita rakentamisvaiheessa ei saa vaihtaa. Läpinäkyvien materiaalien laatuvaatimuksia on esitetty kohdassa 5.2.11.

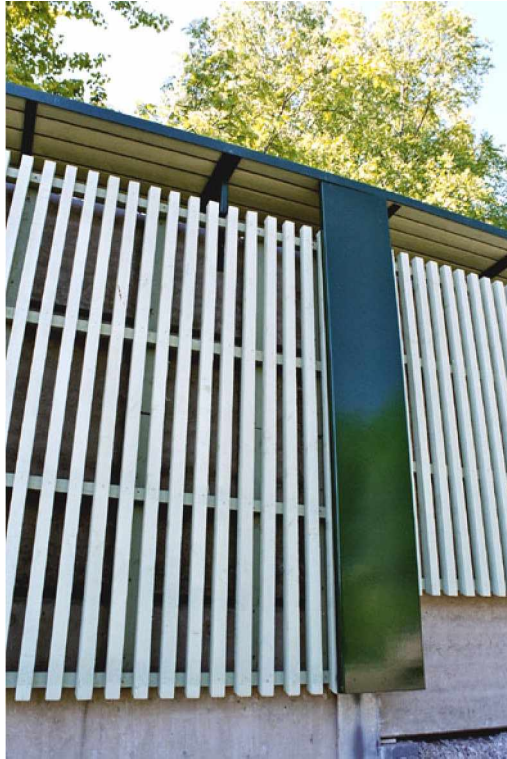
Vaakauritus ja -rimoitus ovat herkkiä likaantumaan ja ne muodostavat herkästi aaltoilevaa kuviota. Vaakarimoituksessa rimat on asetettava hieman kaltevaan asentoon ja rimoituksen jatkuvuus on syytä katkaista jollakin pystyaiheella. Vaakauritusta betonirakenteissa ja puisia vaakarimoituksia ei suositella.



Kuva 30. Ilmeeltään vaatimaton meluseinä. Puumateriaali, töhryjä ehkäisevä rimoitus ja koristelematon, yhtenäinen seinäpinta muodostavat viimeistellyn kokonaisuuden. Puuseinään tehdään yleensä pystyrimoitus.

Puisissa melusteissa tarvitaan tuulikuormien vuoksi järeät vaakapalkit. Ulkonäköystä voidaan vaatia, että vaakapalkit on piilotettava rakenteen sisään. Myös muissa materiaaleissa voidaan vaatia käytettäväksi tietyn suuruista vaaka- tai pystysuuntaista profilointia tai kuviointia. Vaakasuuntaiset upotukset ja ulkonemat keräävät kosteutta, likaa ja lunta.

Melusteeseen voidaan vaatia katto, jossa on kunnan räystäät. Niistä on hyötyä puun ja ääntä imevien materiaalien suojaamisessa. Ulkonäkösyistä räystään leveydelle voidaan antaa enimmäis- tai vähimmäismittoja.



Kuva 31. Katteen detaljoinnilla yksinkertainen meluste voi saada omaperäistä arkkitehtuuri-ilmettä. Katerakenteen tulee olla tukeva.

Melusteiden pysyminen kunnossa ja siistinä ei ole itsestään selvää. Suunnittelussa on syytä pitäytyä hyväksi koetuissa rakenneratkaisuissa ja keskittää arkkitehtuuri seinien näkyvään verhoiluun. Myös hyväksi koettuja detaljeja on hyvä hyödyntää. Verhoiluosien tulee olla helposti irrotettavia. Yksittäisiä pieniä osia tulee välttää.

Ulkonäköä koskevat laatuvaatimukset määrätään yleensä piirtämällä meluste ja määrittämällä materiaalit ja niiden pinnan muodot ja värit. Tällöinkin työn laadulle tarvitaan yleisempiä piirustuksia täydentäviä laatuvaatimuksia, ennakkotarkastuksia (betonin väri ja pinta) ja arvomuutos- ja hylkäysperusteita. Lisäksi tarvitaan laatuvaatimuksia, joilla tähdätään ulkonäön säilymiseen (maalien kestoikä, puhdistamisen helppous).

Joissakin rakennuttamistavoissa yksityiskohtien suunnittelu jää osittain työn toteuttajan tehtäväksi. Silloin tarvitaan yleisempiä laatuvaatimuksia. Osa tällaisista laatuvaatimuksista voidaan poimia tästä ohjeen kohdasta.

Myös meluvalleille voidaan asettaa yleisiä esteettisiä laatuvaatimuksia. Meluvallit voidaan toteuttaa tasapaksuna tai vaihtelevasti kumpuilevana. Pitkä tasapaksu meluvalli näyttää yksitoikkoiselta, ellei kasvillisuus saa aikaan riittävää vaihtelua. Meluvalleihin voidaan saada aikaan vaihtelevuutta myös istutustaskuina, joissa on puu.

Uusia melusteita suunniteltaessa tulisi kiinnittää huomiota siihen, että vastaavaa materiaalia tai osia on saatavilla melusteen käyttöajan ajan. Tämä korostuu etenkin

silloin, kun melusteessä on erikseen suunniteltuja ja rakennettuja osia. Näitä erikoisosa ei suositella rakennettavaksi varastoon. Melusteiden suunnittelussa suositellaan käytettäväksi yleisesti käytettyjä materiaaleja ja osia.



Kuva 32. Melusteiden sovittamisessa sillalle voi käyttää peitelevyä yhtenäistämään julkisivunäkymää. Eri rakenneosien liitoskohdat saadaan piiloon.



Kuva 33. Melusteiden takanäkymä on yhtä tärkeä kuin ajoradan puoli. Arkkitehtuuri voi kohdistua tukirakenteiden muotoiluun ja värien käyttöön.

Melusteiden ja sen lähiympäristön esteettinen laatu tulee varmistaa myös rakentamisen aikana laatimalla esteettiset tuotevaatimukset. Melusteissa voidaan sallia urakoitsijan innovaatioita rakenteissa, jotka eivät muuta ulkonäköä. Arkkitehtisuunnitelmat tulee olla yksiselitteiset ja ulkonäön osalta urakoitsijaa sitovat. Arvonlennusta ei tule hyväksyä melusteiden ulkonäköön vaikuttavissa asioissa. Betonin paikkauksia ei tule hyväksyä. Näkyviin jäävien betonipintojen laadun tulee vastata Suomen Betoniyhdistyksen **Betonipinnat**-ohjeen laatumäärityksiä.

4.2.5 Maiseman ja kasvillisuuden suunnittelu

Melusteiden yhteydessä on yleensä niukasti tilaa kasvillisuudelle. Tärkeää on kuitenkin käyttää harkitusti istuttamismahdollisuudet, sillä vähäiselläkin kasvillisuudella on merkittävästi melusteen sulkemaa näkymää parantava vaikutus. Istutuksien edellyttämät tekniset vaatimukset on esitetty **Infra-RYL:ssä**, mitä tulee noudattaa. Erityisesti tulee huomioida niiton ja vesakoitumisen torjunnan vaatimat tilavaraukset. Kasvien käyttöä meluvallissa on käsitelty kohdassa 3.1.

Liikenneväylien viereen sijoittuvat viherkaistat ovat alttiina liikenteen päästöille ja lumen kasaamiselle, joten kasvilajien tulee olla päästöjä, suojoja ja ajoviimaa hyvin kestäviä. Nurmetuskaistoja ei suositella alle 1,5 m tilaan ja pieniä nurmetusalueita tulee muutenkin välttää. Runkopuiden istutustilan leveydeksi meluseinän vieressä suositellaan minimissään 2,5 m. Meluseinän pohjoispuolella kasvuolosuhteet ovat epäedulliset mikä tulee huomioida kasvivalinnoissa. Istutussuunnitelmassa on huomioitava niitto- ja vesakontorjuntaohjeiden edellyttämät tilavaraukset. Kasvillisuuden suunnittelua ja vihertöitä on käsitelty enemmän Tiehallinnon vihertöitä käsittelevissä ohjeissa.

Keskustan ulkopuolella meluseinän ympäristöön sovittamisen aiheita ovat avo-ojat, pensaiden massaistutukset ja luonnon kasvilajit. Taajamakeskustassa suositellaan käytettäväksi katualueen ympäristöaiheita, reunakivellä rajattua vihervyöhykettä ja kasvillisuutta.



Kuva 34. Välivyöhykkeen kunnossa pysyvyyden kannalta kivetty pinta on suositeltavaa. Kuvan mukainen kasvillisuuden määrä ei riitä estämään töhrintää.



Kuva 35. Tiivis pensasmassa ehkäisee tehokkaasti töhryjen maalaamisen meluseinään.



Kuva 36. Pitkää ja tilaa sulkevaa meluseinänäkymää voi katkaista yksittäispuun avulla.



Kuva 37. Kun taajamassa meluseinän takana liikkuu paljon kevyen liikenteen kuljijoita, on runsas ja monipuolinen kasvillisuus hyvä keino lieventää meluseinän erottavaa vaikutusta.



Kuva 38. Köynnökset ovat turhan vähän käytetty meluseinien ilmettä pehmentävä keino. Valoisuusolosuhteiden ja kasvutilan takaamiseksi tulee harkita, kummalle puolelle köynnökset on hyvä sijoittaa.

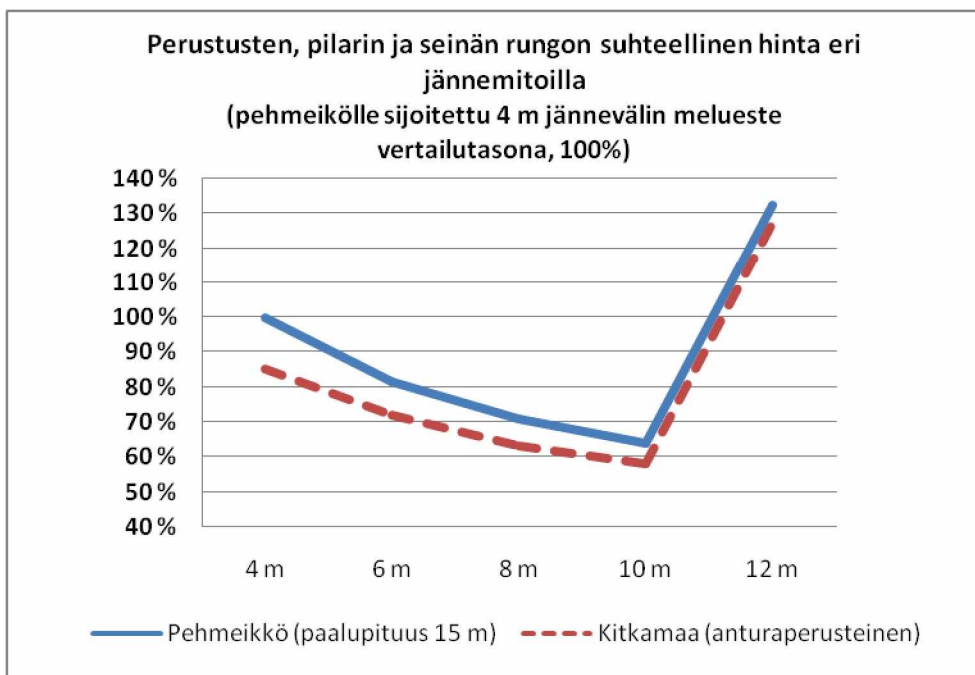
4.3 Melusteen runkomateriaalin ja jännemitan vaikutukset kustannuksiin

Melusteen kustannuksia arvioitaessa tulee ottaa huomioon runkomateriaali, perustamistapa, jännemitta ja melusteen korkeus. Lisäksi kustannuksiin vaikuttaa, onko melusteen oltava absorboiva, mahdolliset verhoilut ja mm. muut arkkitehtuuriset seikat. Osa runkomateriaaleista on absorboivia sellaisenaan, osaan runkomateriaaleista absorbointi aiheuttaa lisäkustannuksia, verhoilujen kiinnittäminen eri runkomateriaaleihin vaihtelee aiheuttaen kustannuseroja jne.

Ulkonäön vuoksi meluseinissä käytetään useimmiten 4...6 m pilariväliä. Pilariväli ei ole sama kuin elementin jännemitta, kun osa pilareista korvataan valespilareilla.

Seinän rungon todellinen jännemitta voi olla puurungolla 4...6 m, liimapuulla, *kertopuulla*, teräksellä ja betonilla 4...12 m. Eri runkomateriaalien väliset hintaerot ovat suhteellisen vähäisiä 4...6 metrin jänneväleillä. Eri materiaalien hintavaihtelu vaikuttaa siihen, mikä materiaalivaihtoehto on kulloinkin edullisin.

Mikäli käytetään pitkiä jännevälejä, tulee ulkonäkösyiden takia yleensä tehtävien valespilareiden kustannukset ottaa huomioon kokonaiskustannuksissa.



Kuva 39. Perustusten, pilarin ja seinän rungon suhteellinen hinta esitettyinä eri jännemitoilla. Kuvasta nähdään, että jännemitan pidentäminen 4 -> 8 m pienentää näiden metrihintaa 30 %. Kitkamaalla metrihintaa on alhaisempi kuin pehmeiköllä; ero riippuu maalajista. Laskelmissa on käytetty kussakin tapauksessa halvinta perustamistapaa ja runkomateriaalia. Jännemitta ei vaikuta seinän verhouksen tai vihertöiden metrihintaan.

Paaluperustuksen hintaan pehmeiköillä ja löyhissä kitkamaissa voi vaikuttaa runkomateriaali siten, että painavimmilla rungoilla, riittävän kantavuuden saavuttamiseksi paalupituutta on lisättävä kevyeen runkomateriaalin verrattuna. Käytettäessä anturaperustuksia kitkamailla tai paalutettuja anturaperustuksia, perustusten koko ja kustannukset pienenevät kun runkomateriaalin paino lisääntyy.

Erityisesti syvillä pehmeiköllä (pitkillä paalupituuksilla), voi olla edullista käyttää pitkiä jännevälejä perustusten lukumäärän vähentämiseksi. Korkeilla (yli 3.5...4 m) meluseinillä perustuksille kohdistuvat kuormat alkavat 6 metriä ja sitä suuremmilla jänneväleillä muodostumaan hyvin suuriksi. Tällöin esim. kitkamaassa anturaperustusten pohjalaatan koko ja sitä kautta kaivu- ja täyttötöyt muodostuva suuriksi perustusta kohden, jolloin käytettävissä oleva tila saattaa käydä ahtaaksi tuoden lisäkustannuksia. Teräspalkkipaalujen etu tulee esiin kaivujen ja täyttötöiden vähäisyytenä, millä voi olla ratkaiseva merkitys rakentamiskustannuksiin, kun estettä rakennetaan olemassa olevan, liikenteellä olevan tien viereen.

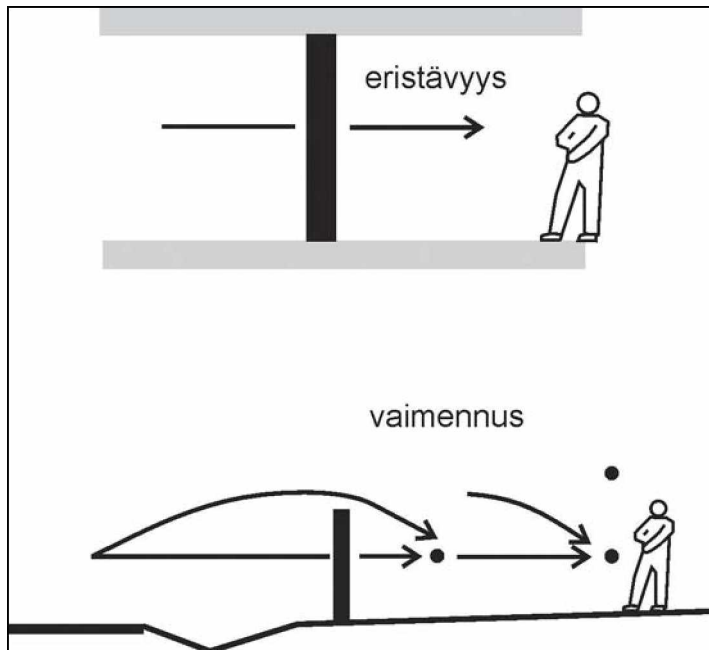
5 Laatuvaatimukset

5.1 Akustiset laatuvaatimukset

5.1.1 Vaimennus ja eristävyys

Meluesteen tarkoituksena on vaimentaa melua suojattavassa kohteessa. Saavutettava vaimennus riippuu ensisijaisesti meluesteen sijainnista, korkeudesta, pituudesta ja suojattavan kohteen sijainnista ja korkeudesta. Meluesteen rakenteen vaikutus vaimennukseen on erittäin pieni, kun rakenteen ääneneristävyyden kohtuullinen vähimmäistaso (20...25 dB) on saavutettu.

Eristävyys on perinteisesti mitattu laboratoriossa erottamalla kaksi huonetta toisistaan meluseinäelementillä, jossa on yksi pilari. Äänen eristävyys on seinän ominaisuus ja se kuvaa sitä, kuinka paljon seinän läpi kulkeutuva ääni vaimenee. Melusteiden äänen eristävyys on suuruusluokaltaan 15...40 dB. Samalla esteellä saavutettu vaimennus maastossa on kuitenkin vain 0...15 dB. Vaimennus riippuu erityisesti siitä, millä etäisyydellä ja korkeudella meluesteen osuutta vaimennuksesta tarkastellaan. Lisäksi vaimennus riippuu seinän tehollisesta korkeudesta.



Kuva 40. Mitä pidemmän matkan ääni kulkee sitä enemmän se vaimenee. Vaimennus riippuu siten melulähteen, meluesteen ja havaintopisteen sijainneista. Vaimennus lasketaan melulaskentamallilla tai mitataan suojattavissa kohteissa. Meluesteen eristävyys mitataan laboratoriossa ja kenttämittauksilla. Se kuvaa seinän läpi kuuluvaa ääntä.

Eristävyyden vaikutus 2,5–3,5 m korkeisen melusteen vaimennukseen voidaan ottaa karkeasti huomioon seuraavilla säännöillä:

1. Melusteen läpi menevä ääni ei vähennä laskelmin ennustettua vaimennusta, jos melusteen eristävyysluku DL_R on vähintään 10 dB suurempi kuin laskelmilla tavoitteeksi asetettu vaimennus aivan melusteen takana.
2. Jos eristävyysluku (DL_R) on vain 5 dB laskelmilla ennustettua vaimennusta suurempi, todellisuudessa saatava vaimennus on 1,5 dB ennustettua pienempi aivan melusteen takana ja 0,5 dB ennustettua pienempi kauempana.
3. Jos melusteen ja pehmeän maan välissä on 200 mm korkea rako, vaimennus on 1–2 dB ennustettua pienempi alle 20 m etäisyydellä melusteesta ja noin 0,5 dB ennustettua pienempi kauempana.

Vertailun vuoksi voidaan todeta, että melusteen rakentaminen 200 mm suunniteltua korkeammaksi kompensoi yleensä kohtien 2 ja 3 alitukset, ei kuitenkaan molempia yhtä aikaa.

5.1.2 Eristävyytluku DL_R

Äänen eristävyttä kuvataan eristävyysluvulla DL_R , joka mitataan laboratoriossa SFS-EN ISO 354 (Akustiikka. Ääniabsorption mittaaminen kaiuntahuoneessa) ja SFS-EN 1793 (Teiden melusteet. Akustisten ominaisuuksien määrittäminen) osan 2 (Tuotekohtainen ilmaäänien eristävyys) mukaisesti. Eristävyytluku DL_R kuvaa rakenteen kykyä eristää esteen läpi menevää ääntä. Luvua laskettaessa käytetään SFS-EN 1793 osassa 3 esitettyä tieliikenteen melun taajuusjakautumaa, joka on tyypillinen taajaman lähellä.

Melustetuotteiden eristävyys osoitetaan standardin SFS-EN 1793-2 mukaisella laboratoriomittauksella. Muista rakennusmateriaaleista paikalle suunnitellun meluseinän eristävyys voidaan arvioida myös materiaalipaksuuksien ja rakojen määrän perusteella jäljempänä tässä kohdassa esitetyissä tapauksissa.

Melustetuotteita ostettaessa eristävyys luokitellaan SFS-EN 1793:1997 osassa 2 seuraavasti:

- luokka B3: DL_R vähintään 25 dB
- luokka B2: DL_R vähintään 15 dB
- luokka B1: DL_R vähintään 5 dB

Yleensä periaatteena on, ettei eristävyys saa heikentyä vaaditun tason alle melusteiden suunnitellun käyttöajan aikana esimerkiksi rakoilun vaikutuksesta. Jos eristävyysluku alenee ajan vaikutuksesta, eristävyysluvun tulee olla uutena vastaavasti suurempi.

Eristävyytlukuvaatimuksena on $DL_R \geq 25$ dB, jos muuta ei tämän ohjeen perusteella määrätä. Eristävyytluvun on säilyttävä melusteiden käyttöajan ajan.

Kun vaimennustarve on enimmilläänkin alle 10 dB, eikä aivan melusteiden takana ole suojattavia kohteita, voidaan valita eristävyysluvun vähimmäisarvoksi 20 tai 15 dB. Vaihtoehtoisesti voidaan tällöin sallia (tapauksen 3 perusteella) rako maan ja melusteiden välissä, jos siitä on huomattavaa hyötyä kuivatuksessa tai roudantorjunnassa. Jos säästö eristävyysvaatimuksesta jää pieneksi, on parasta valita vaatimukseksi 25 dB. Silloin suojattavaa toimintaa voidaan myöhemmin sijoittaa lähemmäksi melustetta.

Uusissa melusteissa laskennallinen tuulikuorma aiheuttaa yleensä niin suuret materiaalipaksuudet, että eristävyysluku 25 dB saavutetaan, jos rakoja ei ole. Yksinkertaisilla lautarakenteilla (ilman vaneria) ei kuitenkaan yleensä päästä pysyvästi 25 dB eristävyysvaatimukseen.

Paikalle suunniteltavan melusteiden eristävyttä voidaan arvioida materiaalien perusteella seuraavasti:

Eristävyytluku DL_R on vähintään 25 dB esimerkiksi seuraavilla rakenteilla:

- vähintään 20 mm vaneri,
- 6 mm vaneri + 20 mm lomalaudoitus,
- vähintään 3 mm teräslevy (+ villa ja runko), joka on tiivistetty käyttäen pehmeänä vähintään 15 vuotta säilyvää tiivistettä, käyttäen puoliponttia tai muuten on varmistettu, ettei rakenteeseen jää yli 3 mm leveitä halkeamia
- vähintään 100 mm paksuiset betonielementit, joiden välissä on elastinen tiiviste.

Edellä mainituissa rakenteissa vanheneminenkaan ei yleensä aiheuta rakoilua, jos saumoissa käytetään hyvin säilyvää tiivistettä.

Lomalaudoituksella (22 x 125, 25 mm limityksin) saavutetaan seuraavat eristävyysluvut:

- 22 dB_{DLR}, kun ei näkyviä rakoja
- 19 dB_{DLR}, kun 2 mm rako joka 3. saumassa
- 16 dB_{DLR}, kun 6 mm rako joka 3. saumassa.

Suurirakoisin tapaus kuvaa vanhenemisen takia kutistuneita lautoja.

Ponttilaudalla (20 mm) saavutetaan 20...25 dB_{DLR} ja puolipontilla (28 mm) 15...21 dB_{DLR} riippuen siitä, paljonko saumat rakoilevat asennusvirheiden tai lautojen kulumisen vuoksi.

Meluestetuotteen tai paikalle suunnitellun rakenteen eristävyysluvun säilyminen voidaan osoittaa käyttökokemuksin tai materiaalistandardein, jotka osoittavat, ettei rakenteeseen tule rakoja tai reikiä eikä painon menetystä. Tarvittaessa koekappaleeseen tehdään ennustetut vauriot ja raot, ja eristävyys mitataan laboratorioissa. Betonielementeistä koostuvaa meluestettä ei tarvitse mitata, jos elementtirakenteessa ei ole rakoja. Kaikkien meluestetuotteiden osalta eristävyys täytyy mitata.

Laboratorioissa mitatun DL_R arvon sijaan, eristävyysluku voidaan mitata ulkona standardin SFS-EN 1793-6 mukaisella eristävyysmittauksella. **Menetelmä korvaa tulevaisuudessa SFS-EN 1793-2 mukaisen menetelmän.** Valittaessa vaatimusarvoa eristävyysluvulle DL_{SI} otetaan huomioon se, että DL_R / DL_{SI} -suhde on useimmiten suunnitellun 0,8. Menetelmällä voidaan tunnistaa myös seinäelementin ja pilarin välisen raon vuoto. Pilarin kohdalla sallitaan hiukan pienempi eristävyys kuin pilarivälin keskellä. Mittausta ei saa käyttää takuuajan vaatimuksena, jos ei ole varmistuttu siitä, että mitauspalvelu on saatavissa. Samalla menetelmällä voidaan seurata eristävyysluvun alenemaa toistamalla mittaus samassa paikassa 5 vuoden välein. Joidenkin meluestetuotteiden CE-merkissä on voitu ilmoittaa DL_{SI} uutena, sekä arvio tai mittaustulos siitä, miten DL_{SI} alenee ajan kuluessa jossakin ilmastorasitusolosuhteessa. Alenemäarvion uskottavuus ja kelpoisuus kohteen olosuhteisiin arvioidaan tapauskohtaisesti arviointiselostuksen perusteella.

Myöhemmin ilmoitettavan siirtymäajan jälkeen eristävyys luokitellaan SFS-EN 1793:1997 osan mukaisesti 6 seuraavasti:

- luokka D4: DL_{SI} yli 36 dB
- luokka D3: DL_{SI} vähintään 28 dB
- luokka D2: DL_{SI} vähintään 16 dB
- luokka D1: DL_{SI} alle 16 dB.

Vaatus voidaan silloin määritellä erikseen seinäelementin keskellä (esim. 36 dB) ja pilarin kohdalla (esim. 28 dB).

5.1.3 Diffraktio

Melusteen tehoa voidaan parantaa käyttämällä melusteen yläreunassa äänen taittumista eli diffraktiota vähentävää rakennetta. Toimiva diffraktion vaimennin vaikuttaa meluun enemmän kuin samankorkuinen pystysuoralisäys melusteen yläreunassa. Rakenteen tehokkuus voidaan tarvittaessa osoittaa maastossa kokeella, jossa tavalliseen meluseinään asennetaan diffraktion vähentäjä. Melutaso mitataan vertailukelpoisissa olosuhteissa (vastaava sää ja äänilähde ym.) ennen ja jälkeen asennuksen. Tuloksia ei saa kuitenkaan sellaisenaan siirtää toiseen tiekohteeseen.

Tutkimuksissa on todettu mm. että melusteen harjalle lisättävä t-muotoinen absorboiva ”hattu”, parantaa esteen vaimennusta 1–3 dB jopa 50 metrin etäisyydelle verrattuna saman korkuiseen pystysuoraan esteeseen. Suomen olosuhteisiin T-profiilia voidaan muuttaa siten, että profiili on alaspäin taittuva, jotta vesi eri kerääntynyt profiilin päälle. Sylinterimäiset, kaareutuvat tai sahalaitakuviolliset yläreunat eivät vähennä havaittavasti diffraktiota, ellei sen materiaali ole ääntä absorboivaa. **Muotoja voidaan verrata jossakin määrin myös TS 1793-4 mukaisella diffraktion mittauksella.**

Melusteen diffraktiovaikutusta ei vielä täysin kyetä mallintamaan, joten erilaisten poikkileikkausten vaikutuksia ei pystytä myöskään arvioimaan laskennallisesti. On havaittu, että diffraktioulokkeen rakentamisen kustannukset ovat suuremmat kuin melusteen korottaminen vastaavalla korkeudella. Toisaalta diffraktiuloke voi toimia myös melusteen kattona, mikä vähentää meluseinän altistumista sateelle.

5.1.4 Absorptio

Tavanomaiset melusteet heijastavat liikennemelua takaisin tielle. Ääntä imevät melusteet heijastavat vain pienen osan äänestä. Äänen imevyys mitataan SFS-EN ISO 354 (Akustiikka. Ääniabsorption mittaaminen kaiuntahuoneessa) ja SFS-EN 1793 (Teiden melusteet. Akustisten ominaisuuksien määrittäminen) osan 1 mukaisesti laboratoriossa. Tuloksena on äänen absorptioluku DL_{α} .

Melustetuotteita ostettaessa äänen absorptio luokitellaan SFS-EN 1793:1997 osassa 1 seuraavasti:

- A0 = ei testattu
- A1 1...3 dB $_{DL\alpha}$
- A2 4...7 dB $_{DL\alpha}$
- A3 8...11 dB $_{DL\alpha}$
- A4 vähintään 12 dB $_{DL\alpha}$

Laatuvaatimusten ja testitulosten yhteydessä on mainittava käytetyn standardin numero ja vuosiluku. Lisäksi on erikseen mainittava, jos tulos koskee pelkkää seinäelementtiä eikä kokonaista melustettua pilareineen ja sokkeleineen.

Tavallisin ääntä imevä rakenne on puu-, metalli- tai muoviritilällä, reikälevyllä tai verkolla suojattu raskas lasi- tai vuorivilla. Sillä saavutetaan useimmiten luokka A3 tai A4, kun ritilän tai rei'ityksen aukkojen osuus pinta-alasta ja villan etäisyys etupinnasta ovat oikeat. Huokoinen betoni, kevytbetoni tai vastaava voi päästä luokkaan A2 tai A3.

Vain laboratoriomittauksin ääntä imeviksi osoitettuja rakenteita saa markkinoida ääntä imevinä melusteina. Poikkeuksena on maavalli. Sitä pidetään ääntä imevänä muutenkin.

Luokan A3 tai A4 mukaista melustetta tai tukimuurin pinnoitetta tulisi käyttää seuraavissa tapauksissa:

- vilkasliikenteisen ajoradan ja melusteen välissä on kevyen liikenteen väylä
- tien toisella puolella on meluseinä, seinä tai tukimuri, ja välimatka on alle 15 kertaa seinien korkeus (kuva 42)
- kulkuaukon kohdalla, kun käytetään kuvan 21 limitystä
- tien vastakkaisella puolella on asutusta, jonka melua heijastava meluste lisäisi tunnelissa.

Tilaajan suunnitelmassa voidaan vaatia rimoitus absorboivaan meluseinään torjumaan töhrimistä tutkimatta erikseen rimoituksen vaikutusta absorptioon.

Luokkien A1 ja A2 melusteita ei pidetä varsinaisena ääntä imevänä melusteena edellä mainituissa tapauksissa. Niistä voi kuitenkin olla hyötyä muissa kohteissa.

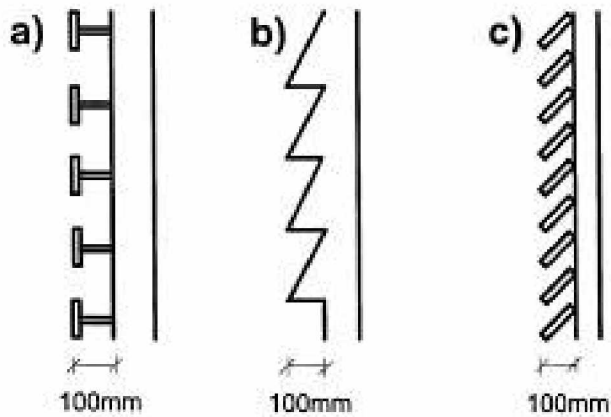
Kun laatuvaatimuksena tapauksissa a...e on ollut absorptioluku DL_G 8 dB, on valittava sellainen tuote, jonka absorptioluku ei selvitysten mukaan alene käyttöikänsä aikana alle 6 dB:n. Jos laatuvaatimuksena on 12 dB, valitaan tuote, jonka absorptioluku ei laske alle 9 dB:n. Alenema saa olla vastaavasti suurempi, jos absorptioluku ylittää uutena laatuvaatimuksen.

Ritilällä tai verkolla suojattuun villaan perustuvien rakenteiden äänen absorptiolukua alentavat: villan valuminen kasetin pohjalle tärinän, lumen ja kosteuden vaikutuksesta tai villan peittyminen paksuun pölykerrokseen (ohut kerros ei välttämättä haittaa). Huokoisen betonin absorptiolukua alentavat: pölyn tai rapautumistuotteiden kertyminen huokosin, ääntä imevän pinnoitteen oheneminen tai irtoilu tai sopimattoman töhryn- tai rapautumisenestopinnoitteen tai poistokeinon käyttö, Näiden asioiden vaikutus meluseinän toimivuuteen saadaan luotettavimmin selville tekemällä vastaavat muutokset meluseinään ja mittaamalla absorptioluku ennen muutosta ja sen jälkeen laboratoriossa SFS-EN 1793-1 mukaan samalla elementillä.

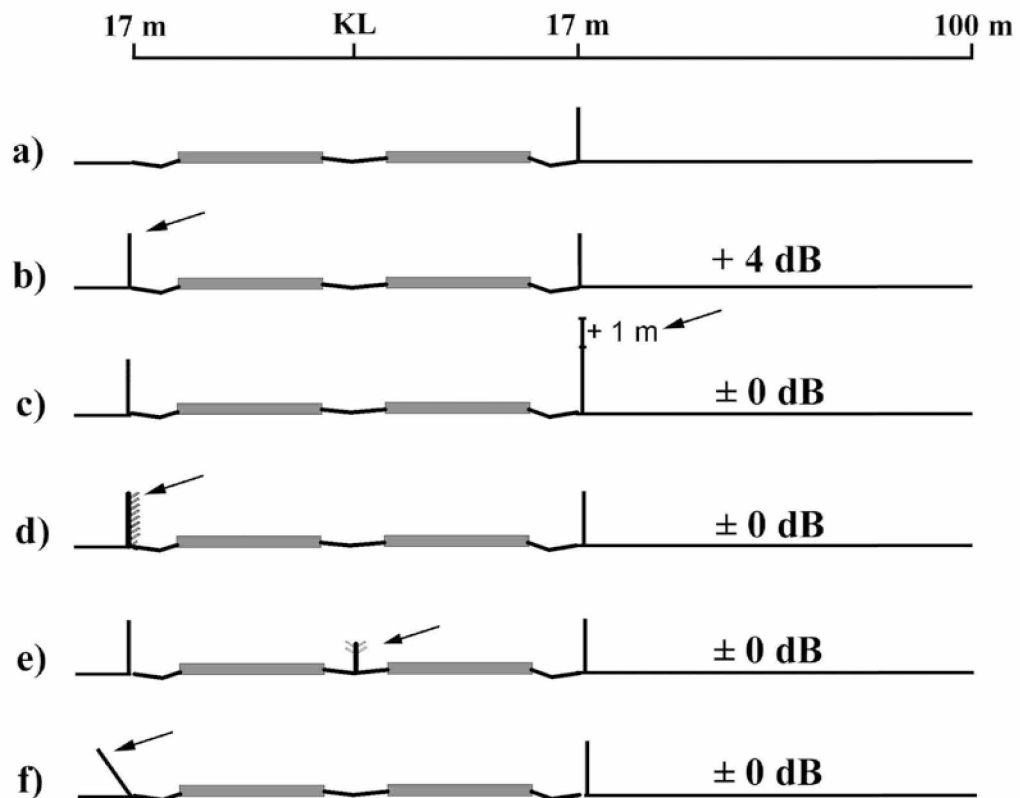
Laboratoriossa tehdyn absorptioluku DL_G määrittelyn sijasta absorptio voidaan mitata pitkäaikaisseurannoissa ulkona valmiista rakenteesta myös TS 1793-5 mukaisella absorptiomittauksella. Saatua äänen heijastumisluku DL_{RI} muutetaan suuntaa antavaksi absorptioluvuksi DL_G kertomalla se huokoisen betonin tapauksessa luvulla 2,0 ja rei'itettyllä levyllä tai ritilällä suojatun villan tapauksessa luvulla 2,2, ellei ole käytössä tarkempaa kerrointa.

Jos laatuvaatimus asetetaan heijastumisluvulle DL_{RI} , **pilarin kohdalle asetetaan yleensä alempi vaatimus**, koska menetelmällä voidaan tunnistaa myös seinäelementin ja pilarin kohdan välinen ero. Meluseinän etupuolella olevan kasvillisuuden määrä ja laatu sekä maan laatu (jäinen, paljas, kova tms.) sekä mittausjärjestelyjen toteutus vaikuttavat tuloksiin joskus enemmän kuin seinäelementissä tapahtuneet muutokset. Mittausta ei pitäisi käyttää takuuajan vaatimuksena, ennen kuin kokemuksia on saatu riittävästi. Joidenkin melustetuotteiden CE-merkissä on voitu ilmoittaa DL_{RI} uutena, sekä arvio tai mittaustulos siitä, miten DL_{RI} alenee ajan kuluessa jossakin ilmasto- ja aurauslumirasitusolosuhteessa. Alenema-arvion uskottavuus ja kelpoisuus kohteen olosuhteisiin arvioidaan tapauskohtaisesti arviointiselostuksen perusteella.

CEN:in julkaisema Tekninen spesifikaatio TS on standardia edeltävä koekäyttöversio, joka julkaistaan mahdollisesti myöhemmin EN-standardina, kun kokemuksia on saatu ja mahdolliset ongelmat poistettu.



Kuva 41. Absoptioarvoa DL_{α} tarkasteltaessa on otettava huomioon, että SFS-EN 1793-1 mukainen laboratoriomittaus antaa liian suuren absorptioarvon, mikäli kohokuvion syvyys on yli 100 mm. Ulkona tehtävä TS 1793-5:n mukainen mittaus sopii hiukan paremmin kohokuvioisille tuotteille.



Kuva 42. Melusteen rakentaminen tien toiselle puolelle vaikuttaa melutasoihin tien ympäristössä. Tulokset on saatu mittaamalla koekentällä tasaisessa paljaassa maastossa.

Lähtötilanne:

- Tien toisella reunalla on jo 2...3 m korkuinen meluseinä.
- Tien vastakkaisella puolella rakennettava meluste lisää melua väylän oikealla puolella +4 dB 1,5 m korkeudella maanpinnasta 35...100 m etäisyydellä tien keskilinjasta

Melun lisääntyminen voidaan estää:

- korottamalla melustetta alkuperäisestä 1 metrillä,
- tekemällä uudesta melusteestä ääntä imevä ($DL\alpha > 8$ dB) tai valli
- tekemällä tien keskelle vähintään 1,5 m korkuinen meluste, jonka alaosa on esimerkiksi betonikaide ja yläosa ääntä imevää materiaalia
- tekemällä uudesta melusteesta tieltä pois-päin kallistettu. Sopiva kallistuskulma on 5...10°, kun melusteiden väli on yli 30 m, ja 10...15°, kun tien leveys on alle 30 m. Suuri kallistus lisää melua uuden melusteen takana.

5.2 Rakenteen laatuvaatimukset

5.2.1 Yleistä

Perinteiset rakennusmääräykset muutetaan niin, että niissä sovelletaan tärkeimmissä turvallisuuteen ja terveyteen liittyvissä asioissa EN-standardeja.

Seuraavat rakennetekniset laatuvaatimukset perustuvat pääosin julkaisuun SFS-EN 1794 (Teiden melusteet. Muut kuin akustiset ominaisuudet).

5.2.2 Tuulikuorma ja oma paino

Tuulikuorma lasketaan SFS-EN 1991-1-4 mukaisesti käyttäen tuulen modifioimatonta perusarvoa 21 m/s.

Jos halutaan välttää tarkemmat laskelmat, voidaan enintään 3 m korkuiselle seinälle, joka on enintään 2 m korkuisen vallin tai penkereen päällä, käyttää Suomessa seuraavia tuulenpaineen ominaisarvoja:

- 0,65 kN/m² maastoluokassa II eli taajamien ulkopuolisilla metsättömillä alueilla
- 0,8 kN/m² maastoluokassa II eli avoimella paikalla, kuten laajoilla peltoaukeilla ja järvien rannoilla
- 1,0 kN/m² maastoluokassa 0 eli avoimen meren rannikolla

Annetut tuulen paineet kuvaavat meluesteen keskiosan tuulikuormaa. Meluesteen päissä osuudella, jonka pituus on 3 kertaa seinän korkeus, tuulikuorma on noin kaksinkertainen.

Alle 3 m etäisyydellä meluseinästä nopeudella 100 km/h ajava linja-auto voi aiheuttaa 0,8 kN/m² imun tai paineen eriaikaisesti tuulen kanssa.

Maanpinnasta enintään 20 m korkuisella sillalla tuulen paineen ominaisarvona voi käyttää maastoluokassa II arvoa 1,0 kN/m², kun sillan leveyden suhde seinän korkeuteen (sillan kannen alareunasta mitattuna) on 5 (tai suurempi) ja arvoa 2,0 kN/m², kun suhde on 1 (tai pienempi). Väliarvot voi interpoloida suoraviivaisesti. Maastoluokassa I paine on noin 1,15-kertainen. Yli 20 m korkuisilla silloilla paine on noin 1,25-kertainen.

SFS-EN 1794-1:2009 (tai 2010) liitteen A mukaan pystysuoran meluesteen tukipilari ei saa käyttörajatilassa taipua vaakasuunnassa em. tuulikuorman vaikutuksesta enempää kuin

- korkeus/100, kun meluseinän korkeus (h) on enintään 3 m;
- 30 mm, kun korkeus on 3...4,5 m
- korkeus/150, kun korkeus on suurempi,

ja seinäelementti saa taipua vaakasuunnassa enintään

- pilariväli/40, kun seinäelementin tukipisteväli (L_A) on enintään 2 m
- 50 mm, kun tukipisteväli on 2... 5 m
- pilariväli/100, kun tukipisteväli on suurempi.

Näitä taipumarajoja käytettäessä ei oteta huomioon perustusten kiertymistä eikä siirtymistä.

SFS-EN 1794-1 liitteen A mukaan murtorajatilassa tuulikuorma kerrotaan laskettaessa ja testattaessa kuorman osavarmuusluvulla 1,5. Näin saatu kuorma ei saa testissä aiheuttaa pilariin tai seinärakenteeseen ylisuurta (pilarin $h/300$ tai $L_A/500$) pysyvää siirtymää. Vauriota tai seinärakenteen irtoamista pilarista ei saa syntyä millään mitoituskuormalla. Kiinnikkeet suunnitellaan kestäväksi mitoituskuorma 1,5-kertaisena.

Pystysuorasta poikkeavien seinien mitoituksessa tuulikuormaan yhdistetään seinän oma paino ja päälle kertynen lumen paino. Yhdistelmä ei saa aiheuttaa ylisuurta kuormituksen aikaista siirtymää ($L_A/300$). Oman painon ja lumen painon osavarmuusluku on liitteen B mukaan 1,35. Pystysuorasta poikkeavien seinien kiinnikkeet suunnitellaan kestäväksi mitoituskuorma 1,75-kertaisena.

Meluesteen seinäelementin on kestävä EN 1794-1 liitteen B:n mukaan oma ja siihen kertyvän veden ja lumen paino murtumatta tai taipumatta liikaa. Kiertymisestä aiheutunut siirtymä saa olla enintään elementin korkeus/50 ja normaalitavalla ripustetun elementin pystysuuntainen taipuma saa olla enintään elementin pituus/400.

Meluestetuotteena myytävän seinäelementin tuotekuvauksen CE-merkissä ilmoitetaan: elementin märkätavoitus, alentunut märkätavoitus ja kuivapaino. Märkätavoituksessa oletetaan kaikkien kolojen ja huokosten täyttyneen vedellä. Alentunut märkätavoitus määritetään upottamalla elementti veteen 24 tunniksi ja mittaamalla sen paino 10 minuutin kuivumisen jälkeen. Pilarien on kestävä vähintään seinäelementtien alentunut märkätavoitus 1,5:llä kerrottuna ja kiinnikkeiden 1,85:llä kerrottuna. Myös paikallisesti suunnitelluissa seinärakenteissa (ei kohdan 5.4.1 mukainen meluseinätuote) otetaan huomioon mahdollisesti kertyvän veden paino, vaikka testaamista ei vaadita.

Meluestetuotteena myytävän seinäelementin tuotekuvauksen CE-merkissä ilmoitetaan, millä tuulen paineella seinäelementti täyttää em. vaatimukset, ja pilareista ilmoitetaan momenttikestävyys.

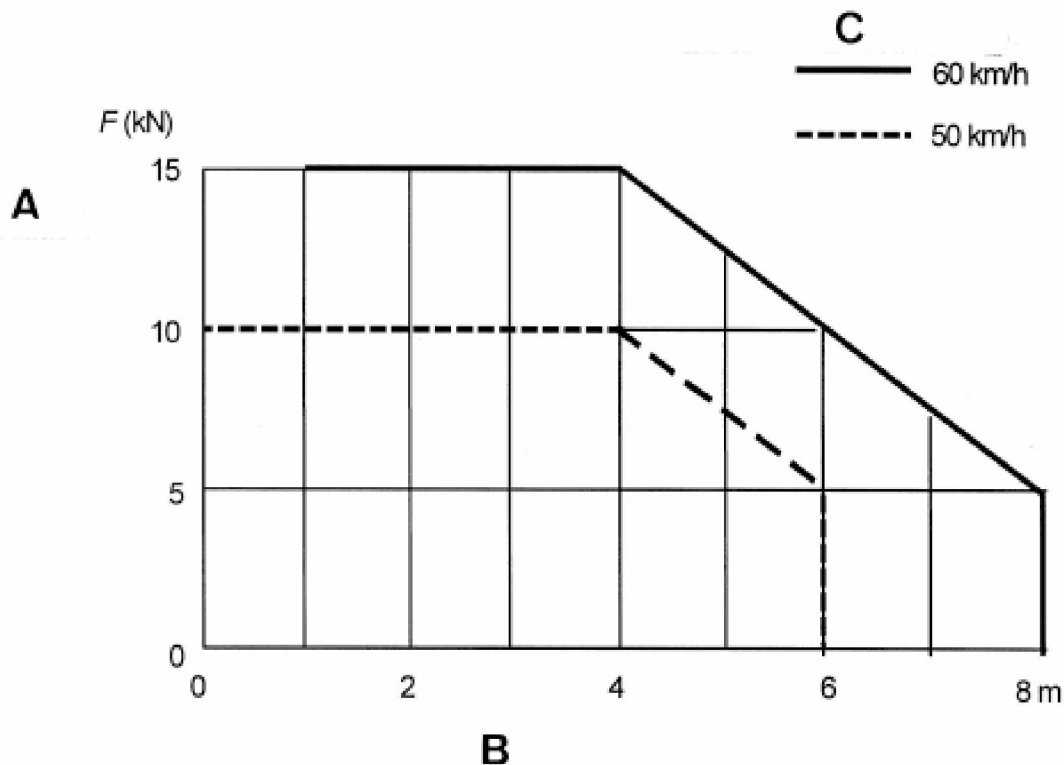
5.2.3 Aurauslumikuorma

Jos melusteen etäisyys aurattavasta tiestä on alle 7 m, aurauksessa lentävän lumen aiheuttama kuorma voi olla suurempi kuin tuulikuorma. SFS-EN 1794-1 liitteen E:n mukaan aurauksuorman ominaisarvon suuruus on aurausnopeudella 60 km/h 15 kN ja aurausnopeudella 50 km/h 10 kN, kun etäisyys tien reunasta on 1-4 m. Kuormat pienenevät 2,5 kN aina etäisyyden kasvaessa yhden metrin 4 m:stä eteenpäin. Aurauskuorma jakaantuu tasan 2 m x 2 m alalle, jonka yläreunan korkeus tien pinnasta on enintään 2,5 m. Epäedullisin kuorman sijainti on määräävä.

Aurausnopeudeksi oletetaan

- 60 km/h vapaassa maastossa
- 50 km/h taajamien sisääntuloteilla.

Aurauskuormaa ei oteta huomioon kevyen liikenteen väylillä, 50 m ennen väistämismittavollista liittymää tai kiertoliittymää ja taajamien sisäisillä katumaisilla väylillä.



Kuva 43. Aurauksen aiheuttama melusteeseen kohdistuvan dynaamisen kuorman suuruus eri aurusetäisyyksillä ja -nopeuksilla. Lyhenteiden selitykset: A = dynaaminen kuorma 2 x 2 m laajuiselle pinnalle, B = etäisyys aurattavan alueen reunasta, C = aurausajoneuvon nopeus (SFS-EN 1794-1).

Aurauskuormaa sovelletaan vain murtorajatilatarkastelussa. Osavarmuusluvulla 1,5 kerrottu kuorma ei saa aiheuttaa vaurioita rakenteisiin.

Jos melusteen etäisyys aurattavasta alueesta on alle 1 m, meluste pitää mitoittaa tapauskohtaisesti. Aurauskuorma ei mitoituksessa esiinny yhtä aikaa tuulikuorman kanssa.

Aurauskuorma otetaan huomioon melusteen rimoituksen suunnittelussa, kun edellä kuvattu aurauskuorma on ylittää 7 kN/m^2 . Tällöin yksittäisen riman on kestävä ilman pysyviä muodonmuutoksia tukivälin pituinen viivakuorma 3 kN/m . Esimerkiksi 45×45 puurima (C18) 500 mm tukivälillä kestää tämän. Jos riman leveys on yli 50 mm , viivakuorman suuruus kerrotaan leveysien suhteella (leveys/50 mm).

5.2.4 Materiaalit, päästöt ja hävittäminen

Melustetuotteen sisältämät materiaalit on vaadittaessa kuvattava SFS-EN 1794-2 liitteen C:n mukaisesti yleisin materiaalinimikkein.

Myrkyllisistä palamiskaasuista ja rakentamisen ja käytön aikana melusteesta irtoavista haitallisista aineista on varoitettava.

Pyydettyessä on annettava selvitys käytetyn melusteen hävittämis- tai uusiokäyttömahdollisuuksista.

5.2.5 Ajoneuvon törmäys

Melukaiteiden osalta törmäys otetaan huomioon kohdan 3.5 mukaisesti.

Mikäli meluseinän tulee toimia kuten kaide, meluseinän alaosa suunnitellaan kuten jäykkä betonikaide.

Joskus voidaan vaatia luokkaa, jossa törmäyksen pitää olla autossa oleville turvallinen, mutta auto saa mennä melusteen läpi. Turvallisuus pitää tällöin osoittaa törmäyskokeella, kun kysymyksessä on meluseinätuote. Turvallisesti voisi toimia esimerkiksi maahan pystytetyistä hoikista puutolpista tai muoviputkista rakennettu paa-
lu-aita, jossa ei ole erillisiä pilareita.

Jäykkien pilareiden varaan rakennetut meluseinät ovat aina törmäyksessä vaarallisia, jos seinäelementit antavat törmäyksessä periksi. Kun nopeusrajoitus on enintään 60 km/h , erillinen tiekaide voidaan ahtaassa paikassa korvata kiinnittämällä meluseinän jäykkiin pilareihin johteeksi esim. $150 \times 180 \text{ mm}$ teräspalkkeja vetoa kestävin jatkoksin.

5.2.6 Liikennealueelta poistuminen erikois- ja hätätilanteessa

Melusteeseen sijoitetaan poistumisovi 1 kilometrin välein, mikäli moottoritiellä on yli 2 kilometrin pituinen yhtenäinen jakso, jossa korkeat meluseinät, vallit, tukimuurit tai siltojen kaiteet estävät poistumisen tiealueelta. Muilla teillä tätä noudatetaan vain, kun tien molemmilla puolilla on vastaavan tyyppinen meluste.

Oven tai limitetyn aukon vähimmäismitat on esitetty standardissa SFS-EN 1794-2 liitteessä D. Oven tai limitetyn aukon vähimmäiskorkeus on $2,1 \text{ metriä}$ ja -leveys $0,9 \text{ metriä}$. Varsinkin pitkiä melusteita suunniteltaessa tulisi kysyä pelastusviranomaisilta heidän vaatimuksensa aukon koolle ja aukkojen etäisyydelle. Tämä koskee myös limitettyjä aukkoja.

Jos melusteeseen rakennetaan ovi, tulee sen aueta vain liikennealueen puolelta ja aukeamissuunta liikennealueesta pois päin. Oven tulee olla itsestään sulkeutuva sekä niin tiivis, ettei se heikennä merkittävästi melusteen ensisijaista tarkoitusta. Mekanismien ylläpidon helppoutteen ja toiminnan varmuuteen tulee kiinnittää huomiota.

5.2.7 Pilarien sijaintitarkkuus

InfraRYL:ssä on määritelty pilarien sijaintipoikkeamien enimmäisarvot. Vuoden 2009 versiossa poikkeama sivusuunnassa saa olla enintään ± 100 mm ja pilariväli saa poiketa suunnitellusta enintään ± 20 mm.

Meluseinäkohtaisessa suunnitelmassa on aina arvioitava em. poikkeamien soveltuvuus ja oletusarvon sijaan on valittava muu poikkeamaraja seuraavissa tapauksissa:

- Jos seinäelementin ja pilarin laipan (esim. H-profiilissa) välinen limitys on suuri (yli 100 mm), eikä limityksessä ole ilmarakoja, voidaan sallia suurempi pilarivälin poikkeama. Uudessa poikkeamarajassa otetaan huomioon seinäelementin valmistajan akustisissa mittauksissa ja tuulikuormalaskelmissa käyttämä limitys.
- Jos seinäelementin pää liitetään laipattomaan pilariin (esim. nelikulmaisen putken kylkeen), pilarivälin poikkeamarajaa ei saa väljentää ja muutenkin on varmistettava sauman tiivistys.
- Kevyen liikenteen väylän vieressä sivusuuntaiseksi poikkeamarajaksi on valittava 50 mm, jos seinässä on tähtäyslinjoja, joita taitteet tai ulkonevat pilarit eivät katkaise.

5.2.8 Perustusten laatuvaatimukset

Perustusten sijaintitarkkuuden sallittu poikkeama määritellään niin, että pilarit on mahdollista asentaa oikeaan sijaintiin.

Perustusten sallitut pysyvät ja kuormituksen aikaiset siirtymät määräytyvät perustamistavan mukaan. Kuormina ovat oma paino ja tuuli tai aerauskuorma (mitoitettavin).

Kun seinän pilari perustetaan yhden paalun tai pilarimaisen perustuksen varaan, mitoitus tehdään Ratahallintokeskuksen julkaisun **B11 Rautateiden melusteet** mukaan. **Sallittu kokonaissiirtymä on maanteiden melusteiden pilarin yläpäässä kuitenkin L/60, kuitenkin enintään 75 mm.**

Kun seinän pilari perustetaan maanvaraiselle laatalle tai anturaperustukselle, mitoitus tehdään Tiehallinnon ohjeen **Melusteperustukset** mukaan. Ohjeen mukaisen laatan pidempää sivua voidaan kuitenkin lyhentää 10 % ja lyhempää 100 mm. Vaihtoehtoisesti perustus mitoitetaan Tiehallinnon ohjeen **Sillan geotekniset mitoitusperusteet** mukaan. Em. ohjetta käytettäessä anturaperustuksen kantavuus määritetään osavarmuuslukumenetelmällä ja kaatumis- ja liukumisvarmuus kokonaisvarmuuslukumenetelmällä, jolloin kokonaisvarmuus oltava vähintään 1.5.

Kun seinän pilari perustetaan paaluparin tai paalutetun laatan varaan, mitoitus tehdään ohjeen **Melusteperustukset** mukaan tai noudattaen julkaisun **B11 Rautateiden melusteet** siirtymärajoja yleisten paalutusohjeiden mukaan niin, että paalulle ei tule vetoa.

Meluseinien perustukset suunnitellaan niin, että pysyvät painumaerot eivät riko rakennetta eivätkä aiheuta ulkonäön, eristävyys- tai lujuuden heikentymistä.

- Jos seinäelementin ja pilarin laipan (esim. H-profiilissa) välinen limitus on suuri (yli 100 mm) ja kiinnitystapa sallii liikettä, peräkkäisten pilarien painumaero saa olla enintään pilariväli/100.
- Jos seinäelementin pään ja pilarin välillä ei ole limitusta tai liitostapa ei salli merkittävää siirtymää, peräkkäisten pilarien painumaero saa olla enintään pilariväli/300.
- Jos meluseinä on kevyen liikenteen väylän vieressä ja siinä on tähtäyslinjoja, joita taitteet tai ulkonevat pilarit eivät katkaise, sallittu painumaero on enintään pilariväli/300.
- Edellä kuvattujen tapausten välisissä rajatapauksissa painumaero saa olla enintään pilariväli /200.
- Kivikorirakenteen sallittu painumaero 4 m matkalla on 20 mm.

Edellä mainittu painumaeroraja valitaan laskennallisessa mitoituksessa enimmäispainumaksi, jos painumaerojen laskemiseen ei ole riittäviä perusteita.

Pysyvästä kallistumisesta aiheutuva sivusiirtymä pilarin päässä saa olla edellisten lisäksi seinän korkeus/300 tai jos ulkonevat pilarit tms. katkaisevat tähtäyslinjat korkeus/150.

Meluvallin alustan ja laen painuma ennustetaan. Alustan painuma ennustetaan geoteknisin laskelmin ja vallin jälkitiivistymäksi oletetaan materiaalista riippuen 10...20 % vallin korkeudesta. Edellä mainittu jälkitiivistymä ei sisällä rakennusaikaista tiivistymistä. Meluvallin laki rakennetaan laen painuman verran melulaskelmien edellyttämää korkeutta korkeammaksi. Jos vallin päälle rakennetaan meluseinä, sallittu painuma määräytyy seinän perustamistavan mukaan.

Melusteiden perustusten materiaalitekniset vaatimukset on esitetty InfraRYL2006:ssa. Melusteiden teräsbetonisen anturan suunnittelulujuus- ja rakenneluokka ovat vähintään K30-2. Rasitusluokka on XC 2. Raudoituksen betonipeitteen nimellisarvo on vähintään 30 mm, maata vasten valettaessa vähintään 50 mm.

Melusteiden perustusten suunnittelukestoikä on 50 vuotta. Perustuksen on kestävä annettujen kuormien suunnittelukriteereiden mukaisesti koko suunnittelukestoikänsä. Vanhenemisen aiheuttama seinämän ohentuminen tai lujuuden menetys otetaan huomioon mitoituksessa. **Teräspaaluja korroosiovähennys tehdään EN1993-5 mukaisesti. Avoimilla paaluilla korroosiovähennys on tehtävä paaluilla sekä ulko- että sisäpuolelta. Mikäli avoimen paalun voidaan olettaa tulppautuvan ja paalun alapää on pohjavedenpinnan alapuolella, sisäpuolisen korroosion voidaan olettaa olevan puolet ulkopuolisesta korroosioista, muussa tapauksessa sisäpuolinen korroosio on yhtä suuri kuin ulkopuolinen korroosio**

Melusteiden teräsbetonisen anturan suunnittelulujuus- ja rakenneluokka ovat vähintään K30-2. Rasitusluokka on XC 2. Raudoituksen betonipeitteen nimellisarvo on vähintään 30 mm, maata vasten valettaessa vähintään 50 mm.

5.2.9 Materiaalien yleiset laatuvaatimukset

Melusteen määräävät materiaalitekniset vaatimukset on esitetty tarkemmin **Infra-RYL2006**:sa, jota päivitetään tarvittaessa.

Pilarit voivat olla betonia, pinnoitettua terästä, ruostumatonta terästä tai puuta.

Pilarin ja seinäelementin liitos suunnitellaan siten, että seinä ei putoa paikaltaan, vaikka tuuli tai aerauskuorma taivuttaa seinäelementtiä. Pilarin ja seinäelementin rako tiivistetään niin, että taskulampun valo ei näy sauman läpi.

Kaikissa, säälle alttiissa tai muuten kosteisiin olosuhteisiin tulevissa, kantavissa ja henkilöturvallisuuden kannalta merkittävässä rakenteissa tulee käyttää ruostumattomasta teräksestä valmistettuja kiinnikkeitä, ruuveja ja nauvoja. Erityisen tärkeää on, että yhdessä käytettävät kiinnikkeet, ruuvit ja naulat ovat kaikki samaa materiaalia.

Sokkelin korkeuden tulee olla vähintään 300 mm, lyhyellä matkalla vähintään 200 mm. Tilaajan luvalla voidaan käyttää myös 200 mm korkeaa kumilaattasokkeliä itse-kantavien melusteiden alla, kun kumisokkeli ei näy häiritsevästi.

5.2.10 Palonarkuus

Melusteissa ei sallita herkästi syttyviä materiaaleja, kuten:

- osittainkin näkyvissä oleva muoviverkko tai -kalvo, joka ulotutaan sytyttämään tulitikulla tai joka syttyisi ruohikkopalosta,
- puu- ja muovisäleikkö, jossa säleen paksuus on alle 30 mm ja samansuuntaisten säleiden välimatka on alle 50 mm.

Melusteeseen vaaditaan vähintään 8 m pituinen palamaton osuus, kun

- yhtenäisen meluseinän pituus on yli 1 km tai
- seinä yhdistää kaksi eri kiinteistöllä olevaa rakennusta toisiinsa.

Palamattomaksi luokitellaan betoninen ja teräksinen meluseinä, jossa voi olla enintään 20 puusta pystyrimaa 8 m matkalla, sekä metallinen meluseinä, jossa on enintään 0,7 mm paksuinen hitaasti palava muovipinnoite.

Tarvittaessa esimerkiksi muovilaatu voidaan osoittaa vaikeasti syttyväksi palotestillä polttamalla SFS-EN 1794-2 liitteen A:n mukainen korillinen lastuja kuivan melusteen vieressä. Palokoe vastaa heinikko- tai pensaikkopaloa. Lisäksi voidaan rajoittaa palamistuotteiden laatua, esimerkiksi klooriyhdisteitä.

5.2.11 Läpinäkyvien materiaalien valintaperusteet ja vaatimukset

Läpinäkyvälle melusteelle sovelletaan samoja rakenteellisia laatuvaatimuksia kuin muillekin melusteille. Huomioon tulee ottaa myös erilaisten materiaalien lämpölaajeneminen, joka saattaa rikkoa läpinäkyviä materiaaleja. Muovien lämpölaajeneminen on kahdeksankertainen lasiin verrattuna ja lähes kuusinkertainen teräkseen verrattuna. Jos materiaali täyttää tässä esitetyt vaatimukset, standardin mukaista iskukoetta ei tarvita.

Läpinäkyvien materiaalien markkinahinnat vaihtelevat merkittävästi vuosittain ja ostomääristä riippuen. Vuonna 2009 lasin (karkaistu 12mm, laminoitu 2x8mm tai laminoitu ja karkaistu 2x8mm, sekä lujiteverkolla 2x6 mm) hinta oli noin 80 €/m², kova-

pinnoittamattoman polykarbonaatin (UV-suojalla, 8mm) 50 €/m², kovapinnoitetun polykarbonaatin (UV-suojalla, 8mm) 90 €/m² ja akryylin (20 mm) 130 €/m².

Melusteelle voidaan asettaa SFS-EN 1794-2:2003 liitteiden E:n ja F:n mukaisia valon heijastumista ja läpinäkyvyyttä koskevia vaatimuksia. Ajovaloja tai auringonvaloa voimakkaasti heijastavia pintoja on vältettävä.

Akryylin vähimmäispaksuus on 20 mm, ellei 0,6 kJ iskunkestävyydestillä voida osoittaa ohuemman paksuuden riittävän. Akryyli himmenee ajan myötä, mutta erityisesti liuotinpesun vaikutuksesta. Pinnoittamattomasta akryylistä töhryjä ei saa kunnolla pois.

Polykarbonaattilevy on läpinäkyvistä materiaaleista kestävin, mutta se kestää huonosti erilaisia liuottimia, joten levy tulee suojata suojakalvolla, jos töhrimistä ei ole muuten estetty. Levyn vähimmäispaksuus on 8 mm.

Läpinäkyvät materiaalit ovat ilkivallan kannalta ongelmallisia. **Lasi** on helppo rikkoa. **Laminoitu lasi** pysyy rikottunakin jonkin aikaa paikallaan, karkaistu laminoimaton lasi putoaa pieninä siruina alas. Toisaalta lasista on helppo poistaa töhryt, mutta ne ovat alttiita naarmuuntumiselle. **Akryyli ja pinnoitettu polykarbonaatti** kestävät paremmin kolhuja, mutta ne voivat himmentyä valon, pesun ja töhryjen poiston seurauksena. Läpinäkyviä melusteita töhritään enemmän kuin muita melusteita, koska töhry näkyy molemmille puolille. Läpinäkyvät pystysuorat tai ulospäin kallistetut pinnat pysyvät melko hyvin puhtaana liasta, ellei niitä sijoiteta aivan alas lähelle tietä. Tietä tulevat roiskeet nousevat noin metrin korkeudelle.

Melusteen läpinäkyvän osan molemmin puolin voidaan käyttää ilkivallalta ja lentäviltä kiviltä suojaavia verkkorakenteita, jotka eivät merkittävästi vähennä läpinäkyvyyttä.

Suuret läpinäkyvät pinnat tulisi varustaa painatuksilla, joilla vähennetään riskiä lintujen törmäämiseen. Painatuksilla on mahdollista luoda myös ulkonäköä parantavia kuvioita melusteisiin.

Karkaistu lasi rikkoutuu herkimmin reunoistaan. Karkaistun lujiteverkolla varustetun lasin (DIN 1259:2001 mukainen) vähimmäispaksuus on 12 mm, kun tukivälinä on 2 metriä. Ilkivallalle alttiissa kohdissa kehysten tulisi peittää lasin reunat 2,4 metrin korkeudelle asti. Laminoitun lasin (DIN 1259 mukainen) vähimmäispaksuus on 2 x 8 mm.

5.2.12 Iskunkestävyys ja osien putoaminen

Meluestetuotteiden osalta pistemäinen 30 J isku ei saa SFS-EN 1794-1 liitteen C:n mukaan aiheuttaa pientä lommoa tai halkeamaa suurempaa vahinkoa. Isku kuvaa au-rauksessa lentävää jäänpalaa tai pikkulasten heittämää kiveä. Standardin mukaan isku tehdään kimmovasaralla. Testimenetelmä laitteistoinen on esitetty standardin liitteessä.

Muiden kuin lasituotteiden osalta Suomessa voidaan sallia myös isku myös pudotta-malla tylppä 1,5 kg painoinen terästanko 2 m korkeudelta meluesteen tai yksittäisen elementin keskelle ja noin 125 mm etäisyydelle nurkista. Testattavien kohtien tulee olla koko kohdetta edustava.

Kylmähauraat materiaalit koestetaan -20 °C lämpötilassa. Isku rikkoo eräät keraami-set levyt.

Iskukoetta ei vaadita suunniteltaessa meluseinää normaaleista rakennustuotteista. On kuitenkin käytettävä InfraRYL:n mukaisia vähimmäisainepaksuuksia metallilevyis-sä ja lasissa.

Suomessa voidaan olettaa, että seuraavat materiaalit täyttävät kimmovasaratestin vaatimukset:

- Normaali betoni
- Vähintään 20 mm lauta
- Vähintään 12 mm vaneri
- Vähintään 1 mm teräs- tai alumiinilevy

SFS-EN 1794-1 ei koske ilkvallan kestävyyttä eikä normin vaatimus riitä rajumman ilkvallan varalle.

Rajulle ilkvallalle alttiilla paikoilla ja silloilla, joilla on meluseinän osia tulee suosia meluestetuotteita, joille on tehty SFS-EN 1794-2 liitteen E mukainen testi ja tulokse-na on luokka 3, 5 tai 6 (0,5 kJ iskuenergialla ei irtoavia osia, tai 6,0 kJ energialla vain vaarattomia osia irtoaa). Suomessa katsotaan, että 20 mm akryylilevy ja vähintään 8 mm polykarbonaattilevy täyttää vaatimuksen ilman testiä.

Sillalla olevan meluseinän kappaleiden putoaminen alapuoliselle tielle tulee estää, mikäli ylikulkevalla tiellä on vähintään 800 raskasta ajoneuvoa ja alapuoletta on pal-jon auto- tai kevyttä liikennettä. Meluseinän osien putoaminen tielle tulee estää sijoit-taessa meluseinä sillalle sillakaiteen taakse alle 1,2 m korkuisen betonikaiteen päälle. Tällöin osien putoaminen sillalta tms. estetään verkolla tai sitomalla elementit nurkistaan vaijerilla tai ketjulla siltaan niin, että ne eivät putoa sen alla kulkevien päälle. Varmuusköysien on kestettävä vähintään 4-kertaisena sen varaan jäävien osi-en märkäpaino, mikä on määritelty standardin SFS-EN 1794-1 liitteessä B. Vaihtoehtoisesti käytetään sellaisia meluestettä, jolle on tehty SFS-EN 1794-2 liitteen E mu-kainen testi ja tuloksena on luokka 5 tai 6 (6,0 kJ energialla vain vaarattomia osia ir-toaa).

5.2.13 Muoviverhoukset

Melusteiden verhouksessa on mahdollista käyttää myös ulkokäyttöön tarkoitettua muovia. Koska eri muovilaatua on kauppanimikkeinä kymmeniä tuhansia ja lisäaineita myös tuhansia erilaisia, on tässä ohjeessa mahdotonta listata kaikkia sallittuja tai kiellettyjä aineita. Muoviverhouksmateriaalin on täytettävä vähintään seuraavat vaatimukset:

Raaka-aineina suositeltavia ovat PE-HD (high density polyeteeni), PE-LD (low density polyeteeni) tai PP (polypropeeni). Muita muovilaatua voidaan hyväksyä enintään 5 paino-%. PVC-muovia (polyvinyylikloridi) voidaan käyttää vain metallin pinnoitteena.

Muoviraaka-aineen ominaisuuksia voidaan parantaa polyolefiini-muoveille sopivilla lisäaineilla. Kuitulujitteita ei suositella kierrätettävyyssyistä. Suosituksena on, että lisäaineet ovat soveltuvia kontaktiin elintarvikkeiden kanssa (FDA-luokitus). Bromipohjaisia palonestoaineita ei sallita pieninäkään pitoisuuksina.

Muovimateriaalin on oltava **läpivärjätty**. Materiaalin maalausta ei hyväksytä, sillä kemiallisten ominaisuuksien vuoksi maali tarttuu huonosti. Lisäksi lämpölaajenemisen vuoksi kaikki maalit eivät pysy kiinni pinnassa pitkään.

Muovimateriaalissa on oltava sopiva **UV-stabilointiaine**. Suositeltavaa on käyttää UV-stabilointiaineita, joiden pitoisuudeksi riittää 0,5...3,5 paino-%. Ilman UV-stabiloittoria muovimateriaalin kestoikä on vähemmän kuin 20 vuotta.

Muovimateriaalin toimittajan on esitettävä EN-71-3 mukaisesti suoritettu liukoisuus-testin hyväksytty tulos. Erityisesti raskasmetallien ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden osalta asetettuja raja-arvoja ei saa ylittää. Haitallisia kemikaaleja ei saa liueta veteen.

5.2.14 Kestoiä

Materiaalivalinnan perusteena ovat seuraavat **InfraRYL**:ssä esitetyt rakenteellisen suunnittelukestoikävaatimukset:

- perustusten, rungon ja kantavien rakenteiden osalta 50 vuotta, paitsi puurungon osalta 40 vuotta
- vaihdettavan rimoituksen, ääntä imevän huokoisen materiaalin ja sauma-aineiden osalta vähintään 15 vuotta
- läpinäkyvien rakenteiden osalta 20 vuotta.

Seuraavassa on suunnittelukestoiän tulkintaa koskevia kommentteja:

Pintaverhouksen tai rimoituksen käyttöikä on usein huomattavasti pidempi kuin suunnittelukestoikä, kun verhoukseen ei välitetä muita kuormia kuin verhouksen oma paino. Vaikka verhouslautojen **ja rimoitusten** suunnittelukestoikä olisi 15 vuotta, verhouslaudat toimivat verhouslautoina **yleensä** noin 30 vuotta. **Aurauskuormalle alttiit rimoitukset voidaan joutua uusimaan hiukan aikaisemmin.**

Vanerille suunnittelukestoikävaatimus on 30 vuotta, kun sen tehtävänä muodostaa ilmatiivis seinämä eikä sille välitetä kuormia eikä taivutusmomentteja. Pitempää suunnittelukestoikää nykyisillä vanereilla ei saavuteta. Melusteen todellinen käyttöikä voi silti olla 40 vuotta.

Puurungon lyhyempi suunnittelukestoikävaatimus johtuu siitä, että nykyisillä kyllästysaineilla ja vanerilaaduilla on vaikea saavuttaa edes 40 vuoden suunnittelukestoikää. Myöskään huokoisilla materiaaleilla ei yleensä saavuteta yli 15 vuoden kestoikää luotettavasti. Käytännössä meluseinäkasetin sisällä olevat eristevillat toimivat pidempäänkin.

Kun äänen absorptio perustuu villoihin ja valmistajalla ei ole tarkempaa hoito-ohjetta, tarkastetaan 10 vuoden jälkeen rakentamisesta, ulottuvatko villat meluseinän yläosaan. Tämän jälkeen 5 vuoden välein tarkastetaan, ovatko villat valuneet. Tarvittaessa villat korvataan.

5.3 Puuhun liittyvät erityiskysymykset

5.3.1 Puun kestoiän arviointi

Melusteissa käytettävän puumateriaalin suunnittelukestoikä saadaan taulukosta 1. Taulukossa suluisissa olevat luvut kuvaavat kestoiän hajontaa eikä niitä käytetä kestoikävaatimuksia tulkittaessa.

Taulukko 1. Melusteessä käytettävän puumateriaalin suunnittelukestoikä-otaksumat. Rakenteellinen suojaus ja vettä keräävä on määritelty kapaleessa 5.3.2. Kestoikä tarkoittaa aikaa, jonka puutavaran oletetaan kestävän kuormituksia meluseinän rungossa tai pilarissa. Jos verhoukset ei kannu kuormia kuin oman painonsa, käytännön käyttöikä on pidempi kohdan 5.2.15. mukaisesti. Suluissa olevia arvoja ei käytetä kestoikä arvioinnissa.

Puumateriaali	Rakenteellisesti suojaattu (v)	Osittain suojaattu, yleisin (v)	Vettä keräävä (v)	Pyöreä massiivipuukosketuksessa (v)	Sahattu rima maankosketuksessa (v)
A-luokan kreosoottikyllästetty mäntypinta 1)	130 (130-180)	110	90 (90-130)	40 (30-60)	22 (22-45)
A-luokan CCA-kyllästetty mäntypinta 2)	120 (120-160)	100	80 (80-120)	35 (35-50)	20 (20-40)
A-luokan kreosoottikyllästetyn puun mäntysydän 1)	105 (105-145)	85	70 (70-105)		18 (18-38)
Suolakyllästetyn puun mäntysydän 2)	60 (90-120)	30	20 (60-90)		14 (14-28)
A-luokan kuparikyllästetty puu	60	40	20	25	15
AB-luokan kuparikyllästetty puu	30	20	15	15	5
Puu-muovi-komposiitti > 50 % muovia 3)	30	20	15	10	5
Lämpökäsitelty puu (D-luokka)	40	20	15	5	3
Puu-muovi-komposiitti < 50 % muovia 3)	20	20	15	10	5
Pinnoitettu reunasuojattu vaneri Lehtikuusi Männyn sydänpuu	40 (30-45)	30	15 (22-30)	6 (6-9)	5 (5-9)
Maalattu kuusi tai havupuu vaneri 4)	15 (15-30)	12	10 (10-15)	3 (1,5-4)	1,5 (1,5-4)
Maalattu mäntypinta	15 (13-20)	11	10 (9-15)	4 (2-5)	2 (2-5)
Maalattu lehtipuu	8 (5-10)	6	5 (3-7)	2 (1-2)	1 (1-2)

- 1) Kreosootin käyttö on vuonna 2010 sallittua, mutta sitä ei hyväksytä meluseinän näkyviin osiin
- 2) CCA:n käyttö kiellettiin vuonna 2006
- 3) Ei pitkäaikaisia kokeita tai kokemuksia. Materiaalilla merkittävää laatuvariaatiota.
- 4) Maalattu edellyttää kuivana tehtaalla ensimmäisen kerran maalattua.

5.3.2 Rakenteellinen puunsuojaus

Taulukkoa 1 tulkittaessa rakenteellisesti suojattu, osittain suojattu ja vettäkeräävä luokka määritetään seuraavasti.

Puu on rakenteellisesti suojattu, kun

- puu on pellin alla
- vaneri on molemmin puolin lomalaudoituksen tai (puoli) ponttilaudoituksen alla ja väleissä on tuuletusrako
- tai seinä on räystäään alla (räystäään leveys vähintään 0,14 kertaa suojattavan seinän korkeus).

Rakenne on vettä keräävä, kun (kuva 44)

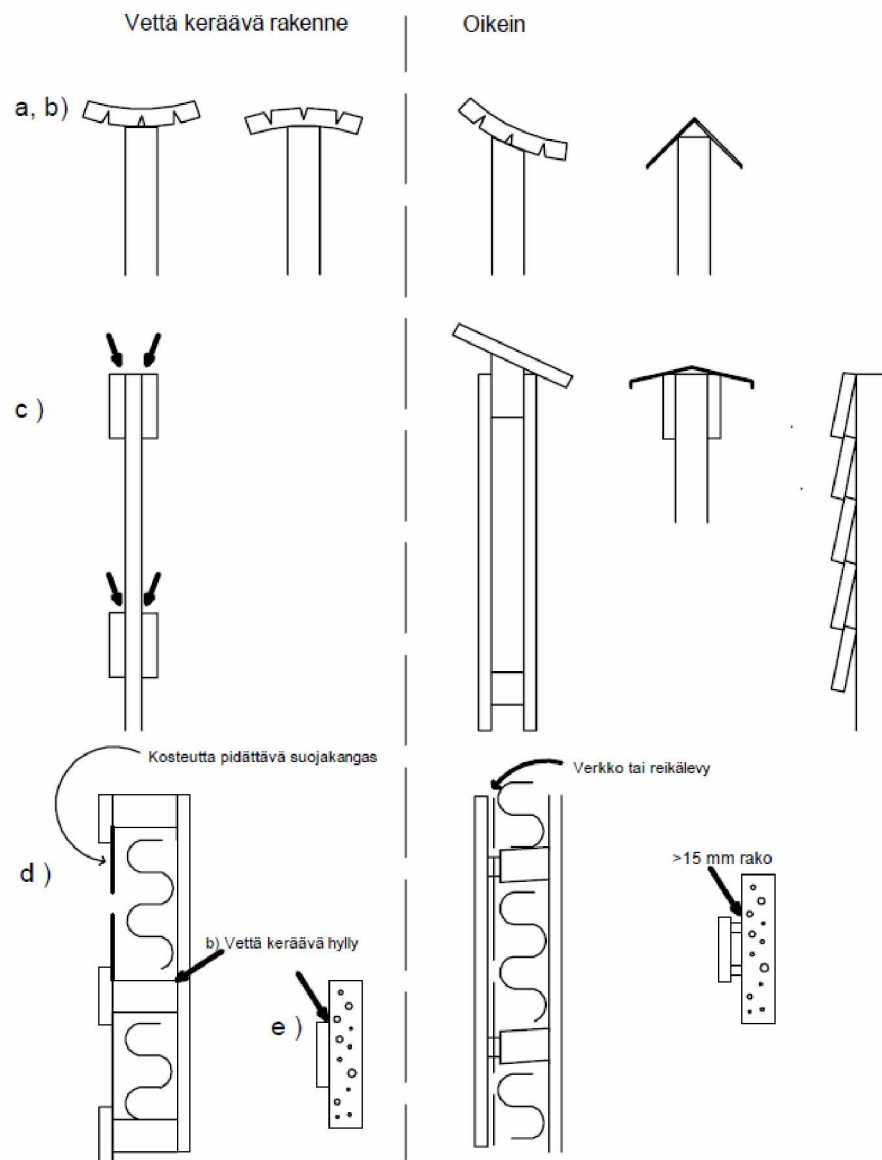
- a. siinä on vettä kerääviä koloja
- b. siinä on yli 150 mm levyinen vaakasuora pinta (kaltevuus alle 10°), jolle sadevesi pääsee
- c. siinä on vettä kerääviä rakoja
- d. kosteutta pitävä kangas tai eriste pitää puun kosteana
- e. betonin koskettaa puuta
- f. puurunko on kahden höyrytiivin levyn tai kalvon välissä ilman riittäviä tuuletusrakoja

Osittain suojattu puu käsittää muut tapaukset.

Luokka "vettä keräävä" kuvaa lähinnä käyttöolosuhteita, mihin puuta ei pitäisi laittaa.

Betonin ja puun väliin jätetään verhouslaudoituksessa aina vähintään 15 mm rako.

Verhouslaudoissa ja säleiköissä käytetään usein muuta meluestettä lyhyempää kes-toikätaivoitetta. Tällöin rakenteet suunnitellaan siten, että lahonneet verhousosat voidaan helposti korvata uusilla.



Kuva 44. Vettä kerääviä rakenteita ja ratkaisuesimerkkejä.

5.3.3 Kyllästetty puu

CCA:ta (kupari-kromi-arseeni) on käytetty vuosikymmenten ajan hyvin kokemuksiin. Nykyisin voimassa oleva arseeniasetus sallii Tiehallinnon käyttävän CCA:ta tien laitteiden ja rakenteiden puunsuojaukseen. CCA:n valmistajat eivät ole kuitenkaan tehneet kemikaaliasetuksen mukaista selvitystä CCA:n ympäristöturvallisuudesta, minkä vuoksi kyllästämöt eivät saa käyttää CCA:ta.

Kuparikyllästys on korvannut CCA-kyllästyksen. Aineena se on tehottomampaa kuin CCA, minkä vuoksi sitä joudutaan käyttämään suurempina pitoisuuksina. Kupari pääsee liukenemaan pois, sillä kromi ei enää sido kuparia puuhun. Tästä syystä kuparikäsitellyn puun kestävyys on CCA:lla käsiteltyä puuta huonompi.

Kreosoottia on käytetty pitkään ja se on kestävä kyllästyskäsitelyaine. EU:ssa on toistaiseksi tulkittu, ettei kreosootti ole kemikaaliasetuksen piirissä. Kreosoottia ei saa käyttää kohdissa, joissa ihmiset pääsevät nojaamaan melusteeseen tai sellaisilla alueilla, joilla on lapsia. Asennusvaiheessa siihen ei saa koskea paljaalla iholla sekä työvaatteet pitää hävittää asennuksen jälkeen. Kreosoottia ei yleensä käytetä melusteissa.

Kaikkien kyllästysaineiden osalta pitää noudattaa valmistajan esittämiä työsuojeluun liittyviä ohjeita.

5.3.4 Kyllästysainetta koskevat merkinnät

Melusteen molempiin päihin on asennettava muovi- tai metallilaatat, joista selviää mitä kyllästysaineita esteessä on käytetty mihinkin kohtaan. Tärkeintä on tunnistaa melusteet, joissa ei ole käytetty kreosoottia, kromia tai arseenia. Silloin este voidaan käytön jälkeen hävittää normaalisti polttamalla, ellei sitä ole muuten erikseen kielletty.

5.3.5 Vaneri

Vaneria on kolmea eri tyyppiä: seka-, koivu- ja havupuuvaneri.

Sekavanerissa (eli twinvaneri) pintaviilut ovat koivua ja muut havupuuta. Koivu- vanerissa kaikki viilut ovat koivua ja havupuuvanerissa havupuuta. Vanerin liimaus ja puu säilyttävät lujuutensa märkänäkin mutta kosteusvaihtelut aiheuttavat dimensiomuutoksia, käyristymisiä ja halkeiluvaaraa sekä lisäävät pinnoitteeseen ja kiinnityksiin kohdistuvia rasituksia. Tämän takia vanerin rakenteellinen suojaus on ensisijaisen tärkeää.

Ulkopintoihin sopii parhaiten maalattu **SP-vaneri**. SP-vaneri on fenoliliimattu sään- ja keitonkestävästi. Lisäksi se on ulkokäyttöön tarkoitettulla maalausohjapaperilla pinnoitettu ja reunasuojattu. SP-vanerin pinnoitteena oleva säänkestävä maalausohjapaperi on varma ja halkeilematon maalausala.

Maalauskalvo voi olla vanerin molemmin puolin tai vain toisella puolella, jolloin tausta on pinnoitettu fenolihartsifilmillä. SP-vaneri on muita vanereita kalliimpaa.

Yleisesti voidaan todeta, ettei vaneri kestä maalausta, ellei siinä ole maalauskalvoa.

Filmipintavanerin kestoikä on suurin piirtein sama kuin SP-vanerilla, mutta se ei kestä auringon UV-säteilyä aivan yhtä hyvin. Filmipintavaneria käytettäessä on melusteeseen tehtävä lautaverhous, joka estää auringon valon pääsemisen vaneriin. Filmipintavaneria ei voi maalata.

Muita sään ja keitonkestävästi liimattuja havupuuvanereita voidaan käyttää lähinnä maalattuna laudoituksen alla. Ulkopintoihin ne käyvät hyvin maalattuina ja rakenteellisesti suojattuina. Hyvästä maalipinnasta huolimatta pinnoittamaton vaneri ei yllä SP-vanerin kestoikään.

Vaneri pitää olla laadultaan riittävän hyvää Suomen olosuhteisiin. Yleensä vanerin soveltuvuus kuhunkin kohteeseen tulee hyväksyttäväksi tilaajalla.

Vanerin valmistajalta vaaditaan jatkuvaa omaa ja ulkopuolisen suorittamaa kansainvälisesti hyväksyttyä laadunvalvontaa. Lisäksi vanerit pitää pystyä tunnistamaan vuosienkin jälkeen, esim. reklamaatiotilanteessa on pystyttävä osoittamaan mikä tehdas ko. levyt on tehnyt. Tähän on todettu hyväksi keinoksi jokaisen vaneritehtaan oma väritunniste, joka sekoitetaan vanerin liimaan ja jonka pystyy selvittämään UV-valon avulla.

Vanerin kiinnitys

Kiinnityksessä on otettava huomioon vanerin kosteuseläminen, joka on tason suunnassa noin 1 mm/m ja paksuussuunnassa 1...2 mm tavanomaisissa käyttöolosuhteissa. Vanerit kiinnitetään melusteiden runkopuihin tai teräsorsisiin. Naulojen ja ruuvien tulee olla **InfraRYL:n** mukaisia. Käytettävien naulojen pituuksien tulisi olla kolme kertaa levyn paksuus, ei kuitenkaan alle 30 mm ja ruuvien 2,5 kertaa levyn paksuus, ei kuitenkaan alle 25 mm. Piilokiinnitys on suositeltavaa.

InfraRYL-ohjeessa on esitetty soveltuvien vanerien ominaisuuksia sekä käsittelyvaatimuksia.

5.3.6 Lämpökäsittely puu

Lämpökäsittely muuttaa pysyvästi puun kemiallisia ja fysikaalisia ominaisuuksia. Näkyvin muutos on puun värisävyn tummuminen, jonka voimakkuus vaihtelee huomattavasti puulajikohtaisesti sekä prosessin lämpötilan mukaan.

Lämpökäsittely pienentää jossain määrin puun tiheyttä. Samalla lujuusominaisuuden vastaavasti heikkenevät. Puun puristuslujuus ei lämpökäsittelyssä muutu. Puun leikkaus- ja halkaisulujuudet pienenevät joissain määrin sekä taivutuslujuus heikkenee tavallisesti 5...20 %. Näistä syistä lämpökäsitteltyä puuta ei käytetä kantavissa rakenteissa.

Lämpökäsittely alentaa puun tasapainokosteutta jopa puoleen käsittelemättömään puuhun verrattuna. Samalla veden imeytyvyys puuhun hidastuu etenkin lapepinnoilla. Täten puun mittapysyvyys paranee.

Edellä mainittu tasapainokosteuden aleneminen parantaa myös lämpökäsittelyn puun kestävyyttä sääräsituusta ja lahottajasieniä vastaan. Samoin UV-säteilyn puuta hajottava vaikutus on käsittelemätöntä puuta vähäisempi mutta UV-säteily haalistaa puun värisävyä.

Palo-ominaisuuksiltaan lämpökäsittely puu ei oleellisesti eroa käsittelemättömästä puusta.

RT-kortissa 21-10908 vain lämpökäsitteltyä mäntyä tai kuusta on suositeltu käytettäväksi ulkorakenteissa. Havupuulle on esitetty kaksi lämpökäsittelyluokkaa Thermo-S ja -D, joista jälkimmäinen käsittely parantaa enemmän puun säänkestoa ja mittapysyvyttä. Yleensä kuusesta saadaan kestävämpi kuin männystä. Tästä syystä vain Thermo-D-luokan kuusta käytetään melusteissa.

Koska lämpökäsittelyn seurauksena puun halkaisulujuus heikentyy, suositellaan kiinnitysreikien esiporausta sekä harvakierteisiä ruuveja tai paineilmanaulausta. Kiinnikkeiden materiaalina pitää käyttää joko ruostumatonta tai haponkestävää terästä. Puun kiinnittämistä liimaamalla ei suositella.

5.3.7 Puu-muovikomposiitti

Puumuovikomposiitit ovat Suomessa vielä melko tuntematon materiaali, vaikka niitä varsinkin Yhdysvalloissa käytetään todella paljon. Puumuovikomposiitti (englanniksi WPC) valmistetaan jätemuovin ja puupurun sekoituksena. Materiaalissa puun osuus on tyypillisesti 50...80 prosenttia tuotteen kokonaispainosta. Itse tuotteet valmistetaan pääasiassa suulakepuristamalla ja niistä tehdään usein ontelorakenteisia.

Puumuovikomposiitin valmistukseen on kaksi lähestymistapaa. Jos tavoitellaan suurta rakenteellista lujuutta ja pitkää kestoikää, on muovin osuus 60–70 %. Jos taas tavoitellaan edullisempaa materiaalia, on muovin osuus 20–50 %. Puumuovikomposiitin muovi voi olla valmistettu mehutölkki-jätteestä, jolloin se sisältää alumiinia. Tämä voi rajoittaa materiaalin polttamista myöhemmin.

Tuote on vaihtoehto painekyllästetylle puulle. Se on kosteudenkestävää ja myrkytöntä, ei lahoa eikä homehdu samalla tavalla kuin normaali käsittelemätön puu, mutta tutkimusten mukaan muovi ei myöskään täysin suojaa puuta lahoamiselta ja homeh-

tumiselta. Puumuovikomposiitin käyttöikä on jokseenkin sama kuin siinä käytetyn puuraaka-aineen käyttöikä ko. olosuhteissa.

Puumuovikomposiittien laatu saattaa vaihdella merkittävästi. Tästä syystä sille ei voida vielä esittää luotettavaa kestoikää. Tuote- ja testausstandardeja on alettu kehittää, joten tulevaisuudessa eri tuotteiden vertailu helpottuu merkittävästi. Ongelma on siinä, että varsinaisesti puumuovikomposiitilla ei ole materiaalina standardiominaisuuksia juuri lainkaan vaan ainoastaan lopputuotteilla, joiden ominaisuudet vaihtelevat sen mukaan kuka ne mistäkin raaka-aineista ja millä tekniikalla on valmistanut. Jotkin selvitykset USAssa kertovat, että kaikkien valmistajien antamiin tietoihin ei ole luottamista.

Puumuovikomposiitti kestää normaalia puuta paremmin kosteutta, mutta kerran kostuttuaan se myös kuivuu hitaasti. Työstettäessä puumuovikomposiitti on herkempi murtumaan kuin aito puu. Naulaaminen on vaikeaa ja suosituksena on reikien poraaminen. Tuotteelle tyypilliset ponttiliitokset helpottavat rakentamista.

Puumuovikomposiittituotteet säilytetään valmiiksi tehtaalla eikä sille suositella pintakäsittelyä.

Melusteissa puumuovikomposiittia voidaan käyttää verhouksmateriaalina. Runkomateriaaliksi puumuovikomposiittia ei hyväksytä ennen kuin sen kestävydestä on riittävästi tietoa.

Suurin osa komposiittituotteista voidaan hävittää polttamalla tai se voidaan kierrättää tuotantoprosessiin uudelleen. Poikkeuksena ovat alumiinia sisältävät tuotteet, joiden polttamisessa voi olla rajoitteita, sillä alumiini tukkii polttolaitoksen paloarinan.

Puumuovikomposiitti on hinnaltaan kalliimpaa kuin muut puumateriaalit.

5.3.8 Maalaus

Suosittelava maalaustapa

Maalaamaton kyllästetty tai kyllästämätön puu harmaantuu ja muuttuu vähitellen pinnaltaan selluloosaksi auringonvalon ja sienten yhteisvaikutuksesta. Lisäksi kyllästämätön puu tai vain vähän öljy- tai alkydisideainetta sisältävällä suoja-aineella kyllästetty puu halkeilee ajan mittaan kostumisen ja kuivumisen seurauksena. Kuultavia pintakäsittelyaineita ei suositella, koska ne eivät suojaa auringonvalolta. Kaikki puutuotteet lukuun ottamatta pinnoitettu vaneri olisi suositeltavaa pohjakäsittelä puunsuoja-aineilla. Muita kuin SYKE:n hyväksymiä puunsuoja-aineita ei saa käyttää. Jos pohjamaali sisältää puunsuoja-aineita, ei puuta tarvitse erikseen käsitellä puunsuoja-aineella.

Jos meluaita on ollut pitempään pintakäsittlemättä ja pintakäsittelään myöhemmin, huoltovälit ovat lyhyempiä kuin, jos pintakäsittely olisi suoritettu viivytyksettä, koska säälle altistuneen puun pinta on huonontunut.

Vesiohenteisten alkydi-akryylimaalien etuina ovat niiden erittäin joustava maalipinta, hyvä säänkestävyys ja tehokkaat puunsuoja-aineet. Lisäksi näistä maaleista ei synny liuotinpäästöjä ja niiden huoltomaalaus on helppoa kaikilla alkydi-, öljy ja vesiohenteisillä maaleilla.

Näistä syistä suositellaan, että **uusi meluste** maalataan vesiohenteisellä alkydi-akryylimaalilla. Maali levitetään tehtaalla kuivalle pinnalle kaksi kertaa ennen asennusta ja tarvittava paikkamaalaus tehdään asennuksen jälkeen. Kunkin kerroksen paksuus on noin 0,1 mm märkänä. Ennen viimeisiä maalikerroksia kuumasinkittyjen (lämpökäsitelty ja käsittelemätön puu) naulojen kannat maalataan ruosteenestomaalilla. Puun kosteus maalattaessa saa olla enintään 18 %.

Kuusi on parempi maalausaluista kuin pintapuuvaltainen mänty, koska kuusi halkeilee vähemmän, ja pintasieniä esiintyy jonkin verran vähemmän. Männyn sydänpuulla on vielä paremmat kosteus- ja kestävyysominaisuudet kuin kuusella. Lämpökäsitellyn puun pintakäsittely ja huolto tehdään kuten lämpökäsittelmättömäänkin puuhun.

Olemassa oleviin maalattuihin melusteisiin tehdään huoltomaalaus tarvittaessa. Jos meluste on maalattu peittomaalilla, huoltoväli on 7-15 vuotta, jossa lyhin huoltoväli on auringonpaisteisella puolella estettä. Huoltomaalaukseen käytetään samantyyppistä maalia kuin melusteessa on aiemmin käytetty tai alkydi-akryylimaalaa. Maalaus ja sen esityöt tehdään kunkin maalitoimittajan maalausohjeen mukaisesti. Lisäksi huoltomaalauksessa täytyy noudattaa uuden melusteen maalaukseen edellä esitettyjä ohjeita.

Olemassa oleviin kuultavalla pintakäsittelyaineella käsiteltyihin melusteisiin tehdään huoltokäsittely 2-4 vuoden välein. Huoltoväli riippuu rasitusoloista (auringonvalo) ja pinnan laadun vaatimustasosta. Huoltomaalaus samantyyppisellä tuotteella on helppoa, koska varsinaista vanhan pinnan esikäsitteilyä ei tarvita. Jos pintakäsittelyaine on kalvon muodostavaa, täytyy ennen huoltokäsittelyä pinnassa mahdollisesti esiintyvä hilseily poistaa kaapimalla tai korkeapainepesulla.

Huoltomaalaus on ongelmallista, jos peittomaali on alkanut hilseillä, koska esityöt vievät aikaa ja ovat kalliita. Tällainen hilseily voi ilmaantua hyvinkin nopeasti. Seu-

raavat maalikalvot hilseilevät todennäköisesti samasta kohdin. Hilseily johtuu useimmiten seuraavista syistä: kosteus pääsee puuhun syvästä naulauksesta tai käsittelemättömistä päätypinnoista, puu on ollut säälle alttiina tai on maalattu esim. kuultavilla puunsuojilla käsiteltyä huonokuntoista puun pintaa. Kosteus imeytyy tehokkaimmin juuri puun leikkauspinnoista. Paras tapa estää kosteuden imeytyminen päätypinnoista on maalata ne öljy- tai alkydimaalilla.

Kyllästetyn puun pintakäsittely

Suolakyllästettyä puuta voidaan maalata kuten kyllästämätöntä, kun on varmistettu ennen maalausta, että puun kosteus on alle 18 %.

Jos kyllästyksen on käytetty kreosootti- tms. öljyä, joka ei ole sitoutunut puuhun, pintakäsittelyyn ei todennäköisesti sovi peittomaali eikä muu kalvoa muodostava tuote hilseily- ja kuplimisongelmien takia. Jos tällaista puualustaa halutaan pintakäsitellä, siihen soveltuvat kalvoa muodostamattomat pigmentoidut puunsuojat. Töhrittyjen pintojen peittomaalausta ei voi tehdä puuhun, jossa kreosootti- tms. öljy ei ole kunnolla sitoutunut, vaan ainoa tapa puhdistaa pinnat on liuottimilla tai hiekkapuhalluksella.

Lämpökäsitellyn puun pintakäsittely

Lämpökäsitellyn puun pintakäsittelyyn soveltuvat useimmat puupintojen käsittelyyn tarkoitetut pigmentoidut tuotteet tai maalit. Huomioitavaa on, että pintakäsittelyaineen imeytyminen on hitaampaa kuin käsittelemättömään puuhun.

Ilman pintakäsittelyä lämpökäsitelty puu harmaantuu kuten käsittelemätön puu. Jos värisävy halutaan säilyttää, voidaan käyttää UV-suojaavia tuotteita. Tällöin myös mahdollinen pintahalkeilu vähentyy. Käsitteleyalustaksi soveltuu parhaiten karhennettu pinta.

Kun lämpökäsitelty puu on suunnattu luoteen ja koillisen väliseen ilmansuuntien neljännekseen, ei materiaalia tarvitse maalata. Muissa tapauksissa lämpökäsitelty puu pitää maalata.

Puumuovikomposiitin pintakäsittely

Puumuovikomposiitin pintakäsittelyä ei suositella. Huoltokäsittelyinä toimii pelkkä pesu. Puumuovikomposiitti voi hieman haalistua ensimmäisen vuoden aikana. Tämän jälkeen materiaalin värin muutos hidastuu.

5.4 Meluseinän ominaisuuksien osoittaminen

5.4.1 Meluestetuotteista valmistettu meluseinä

Meluseinä voidaan rakentaa meluestetuotteista, joita markkinoidaan erityisesti melusteisiin

- meluseinäelementti
- meluestepilari
- meluesteen lisälaitte (esim. diffraktion vaimentaja tai ääntä imevä pinnoite)
- edellä mainituista koostuva kokonainen meluseinä.

Tällöin meluseinän tai seinäelementin valmistaja tutkii tuotteensa ja ilmoittaa tuotteen eri versioiden ominaisuudet standardin SFS-EN 14388 mukaisesti ainakin seuraavien ominaisuuksien osalta:

- tuulikuorman kestävyys
- aurakuorman kestävyys (jos ei ilmoiteta, ettei kestä)
- elementin paino
- äänen eristävyys
- äänen absorptio (kun väitetään ääntä imeväksi)

Ominaisuudet osoitetaan CE-merkin avulla. Tiehallinto voi hyväksyä uuden kokeiluvaiheessa olevan tuotteen koekäyttöön muutenkin.

Lisäksi vaaditaan

- selvitys akustisten ominaisuuksien säilymisestä ja rakenteen kestävydestä
- asennusohjeet, joilla varmistetaan mm. saumojen tiiviys, jotta saavutetaan ilmoitettu äänen eristävyys ja kestoikä.
- huolto-ohje, jossa kerrotaan mm, miten töhryt voidaan poistaa pilaamatta pinnoitetta, ja miten mahdollisten ääntä imevien pintojen pitkäaikaistoimivuutta voidaan ylläpitää.

Pelkkä ilmoitettu kestoikä ei riitä, koska kestoikä riippuu voimakkaasti ilmasto-olosuhteista eikä standardissa SFS-EN 14389-2 esitetty kestoian arviointitapa ole aivan yksiselitteinen. Valmistajan ilmoittama kestoikä on usein 30, tai akustisten elementtien osalta 15 vuotta, jotka ovat kyseisen standardin oletuskestoikä, vaikka todellinen kestoikä materiaalien perusteella olisi pidempi. Teräs- ja betonituotteiden osalta kestoikä arvioidaan **InfraRYL**:ssä esitettyjen materiaali vaatimusten perusteella ja puun osalta tämän ohjeen perusteella, jotta saadaan vertailukelpoiset tulokset.

Tiehallinnon kohteissa vaaditaan, että vaadittu eristävyysluku DL_R (esim. 25 dB) saavutetaan vaaditun käyttöiän ajan. Valmistaja voi tällöin

- a. tehdä eristävyys uutena ylisuureksi (esim. 30 dB), jolloin eristävyys saadaan aletaan enintään vaatimuksen ja alkuarvon erotuksen verran ($30 - 25 = 5$ dB) tai
- b. eristävyys on uutena vaatimuksen mukainen, mutta rakenne on sellainen, että eristävyys ei alene iän vaikutuksesta.

Äänen absorptioon osalta vaaditaan, että vaadittu absorptioluku saavutetaan 15 vuoden ajan. Äänen absorptioonkin osalta valmistaja voi valita edellä kuvatun vaihtoehdon a) tai b).

Eri tilanteissa vaadittavat vähimmäisarvot on annettu tai valitaan kohdan 5.1. (Akustiset laatuvaatimukset) ja kohdan 5.2. (Rakennetekniset laatuvaatimukset) perusteella. Näissä kohdissa on kerrottu myös tilanteista, joissa on käytettävä täydentäviä laatuvaatimuksia, mm. iskunkestävyys, töhryjen ehkäisy ja niiden poistettavuus, palon kesto, toiminta törmäyksissä jne. Meluestepilareista ilmoitetaan ainakin momenttikestävyys.

5.4.2 Muista rakennustuotteista valmistettu meluseinä

Kun meluestettä ei tehdä meluseinätuotteesta vaan se suunnitellaan kohdekohtaisesti ja rakennetaan tavanomaisista rakennustuotteista (laudoista, nauloista, betonielementeistä, jne), meluesteen laatuvaatimukset ovat tämän ohjeen mukaiset eli käytännössä samat kuin meluestetuotteilla, mutta meluseinän suunnittelija selvittää meluseinän eristävyden tämän ohjeen kohdan 5.1. mukaisin tiedoin esim. materiaalipaksumuksien perusteella ja laskee kuormien kestävyden yleisten mitoitusnormien perusteella. Pitkäaikaiskestävyys varmistetaan noudattamalla julkaisun **InfraRYL2006** luvun Melusteet materiaalivaatimuksia ja varsinkin puun osalta tässä ohjeessa annettuja mitoitusperusteita ja muiden materiaalien osalta tarvittaessa Suomessa yleisesti käytettäviä kestoian mitoitus tapoja.

Jos meluseinän on oltava ääntä imevä, äänen absorptio on mitattava, jos ei käytetä ääntä imeviä meluseinäelementtejä tai -pinnoitteita, joiden äänen absorptio tunnetaan. Jos meluseinän runkona on ääntä imevä meluseinäelementti, jonka äänen absorptio tunnetaan, ja Tiehallinto vaatii sen etupintaan rimoituksen tai verkon estämään töhrimistä tai parantamaan ulkonäköä, syntyneen seinäpinnan äänen absorptio voidaan arvioida ilman mittauksia luvussa 6 esitetyissä tapauksissa.

5.5 Ylläpidon erityiskysymykset

Melusteet vaurioituvat suurella varmuudella jossakin vaiheessa käyttöikänsä. Vaurioitumisen voi aiheuttaa rakentamisen aikana tehdyt virheet, ajoneuvot tai lentävät kappaleet tai yksinkertaisesti ikääntyminen ja altistuminen rakennetta vanhentaville seikoille.

Korjaustyön aloittamisajankohta määräytyy usein vaurion vakavuuden perusteella. Korjaustyöstä päättää yleensä melusteestä vastuussa oleva taho. Seuraavia tekijöitä (halutulla painotuksella) voidaan käyttää hyväksi korjaustyön tarpeellisuutta arvioidessa:

- **Turvallisuus:** Onko vaurio niin merkittävä, että se on vaikuttanut meluesteen tukirakenteisiin tai voiko vauriosta aiheutua vaaraa ajoneuvoille tai jalankulkijoille?
- **Kestävyys:** Voiko vaurio lyhentää koko meluesteen tai jonkin merkittävän osan käyttöikää?
- **Toimivuus:** Heikentääkö vaurio meluesteen vaimennusvaikutusta?
- **Esteettisyys:** Muuttaako vaurio merkittävästi meluesteen ulkonäköä ja onko se hyväksyttävää?

6 Melusteen rakennuttaminen

Melusteet voidaan rakennuttaa seuraavilla tavoilla:

1. Rakennuttaja tekee tai teettää tarkan ulkonäkön ja rakennetta koskevan suunnitelman, josta pyydetään tarjoukset. Urakkamuotoa käyttämällä melusteen ulkonäkö ja rakenne saadaan halutunlaiseksi ja tarjouksia on helppo vertailla. Haittana on usein korkeampi hinta kuin ulkonäöltään ja rakenteeltaan samanveroisessa sarjavalmisteisessa tai urakoitsijan suunnittelemassa melusteessa. Hankekohteisesti suunniteltu meluste on tavallaan prototyyppi ja siinä voi ilmetä puutteita. Edellä esitetyt ongelmat voidaan välttää, jos suunnittelija on kokenut ja tuntee tuotantomenetelmät.
2. Rakennuttaja määrittelee päämitat, ulkonäön ja tärkeimmät materiaalit ja laatuvaatimukset. Urakkaan sisältyy rakenteen yksityiskohtien suunnittelu. Tällöin hinta on usein edullisempi kuin edellisessä vaihtoehdossa. Tarjousten vertailu voi olla vaikeaa, koska rakenne-ratkaisujen laatuvaatimuksissa voi olla eroja. Ongelmaa voidaan pienentää sopivasti rajaavilla laatuvaatimuksilla. Tapauskohtaisesti on harkittava, miten tarkasti ulkonäkö määritetään.
3. Rakennuttaja määrittelee melusteelta vaadittavan vaimennuksen tai sijainnin ja tärkeimmät mitat ja laatuvaatimukset. Tarjoajat suunnittelevat rakenteen ulkonäön ja mitat. Rakennuttaja valitsee melusteen ulkonäön ja hinnan perusteella. Jos melustemateriaali valitaan ennen tarjouskilpailua liian tarkasti, vaarana on kustannusten nouseminen. Toisaalta hintakilpailua on vaikea järjestää, jos melusteelle asetettavat vaatimukset ovat kovin väljät. Jos käytetään sarjavalmistaisia tuotteita, melusteen ulkonäkö on suunniteltava paikkaan sopivaksi ja vaihtelevaksi.

Olkoon urakointimuoto mikä tahansa, on rakennuttajan huolehdittava aina siitä, että meluste soveltuu ympäristöönsä ja toteutetaan sekä teknisesti että esteettisesti hyvällä laatuvaatimuksella. Nämä kriteerit on esitettävä selkeästi urakka-asiakirjoissa. Samoin urakkasopimuksessa on sovittava menettelytavat, joilla varmistetaan esteettisen laadun toteutuminen rakentamisen aikana.

Paikan merkittävyydestä ja katseluetäisyyksistä riippuu, kuinka paljon normaalia enemmän melusteeseen ja sen suunnitteluun ja toteutuksen valvontaan kohdistetaan rahaa ja estetiikan asiantuntemusta.

Melusteen esteettisen laadun varmistaminen rakentamisen aikana

- laadunvarmistuksen tavoitteet
 - halutun laadun toteutuminen, pysyminen siistinä ja kunnossa
- laadunvarmistuksen keinot
 - tuotevaatimusten määrittelyt
 - prototyyppi- ja hyväksyntämenettely (InfraRYL)

Ulkonäkön koskevat laatuvaatimukset määrätään yleensä piirtämällä meluste ja määrittämällä materiaalit ja niiden pinnan muodot ja värit. Tällöinkin työn laadulle tarvitaan yleisempiä piirustuksia täydentäviä laatuvaatimuksia, ennakkotarkastuksia (betonin väri ja pinta) ja arvonmuutos- ja hylkäysperusteita. Lisäksi tarvitaan laatu-

vaatimuksia, joilla tähdätään ulkonäön säilymiseen (maalien kestoikä, puhdistamisen helppous).

Joissakin rakennuttamistavoissa yksityiskohtien suunnittelu jää osittain työn toteuttajan tehtäväksi. Silloin tarvitaan yleisempiä laatuvaatimuksia. Osa tällaisista laatuvaatimuksista voidaan poimia tästä ohjeen kohdasta. Ulkonäköä koskevat toiveet on kuvattava vieläkin yleisemmällä tavalla, kun melusteiden suunnittelusta järjestetään kilpailu.

Mikäli meluste sijoittuu erittäin vaativaan ympäristöön, on suositeltavaa pyytää urakkatarjoukset tarkkojen rakennuttajan laatimien suunnitelmien pohjalta. Kaikissa tapauksissa on kuitenkin selkeästi määriteltävä melusteen visuaalisen ilmeen vaatimukset.

Käytettäessä rakennuttamistapaa 3 tarjouspyynnössä tai siihen liittyvässä (tie)suunnitelmassa on esitettävä seuraavat asiat:

- sijaintitiedot ja korkeus, sallittu poikkeama sijaintiin
- vaadittu eristävyysluokka uutena ja mahdollisesti rakennettuna ja sallitaanko rako maan pinnassa (5.1.2.).
- vaaditaanko ääntä imevä meluste (5.1.4.).
- pohjamaa, aurattavat alueet ja kielletäänkö joku perustamistapa (esimerkiksi uudella tiellä pengermassojen painuminen voi siirtää pilariperustusta mukanaan)
- vaaditaanko töhrimistä estävä kasvillisuus, pintaprofilointi tai puhdistamista helpottava pinnoite ja sallitaanko helposti rikkoutuvia tai kolhiintuvia materiaaleja kuten lasi.
- vaaditaanko jossakin kohdassa törmäysturvallinen rakenne
- kuinka tihein välein ja miten melusteen monotonisuus tulisi katkaista tien ja tontin puolella
- minkä näköisiä melusteita kohteeseen halutaan ensisijaisesti ja mitä toissijaisesti.
- suositaanko tiettyjä materiaaleja ja miksi (tiellä liikkuva ei välttämättä erota materiaalia)
- sallitaanko puun upottaminen maahan
- sallitaanko klooripitoiset muovit, jne.
- pitääkö puurakenteissa soveltaa tietyn julkaisun mukaisia rakenteellisia puunsuojauskeinoja
- Osa vaatimuksista on ehdottomia. Osa vaatimuksista voi olla suosituksia, joista hyvitetään vertailussa.

Käytettäessä rakennuttamistapaa 2 tarjouspyynnössä ja siihen liittyvässä (tie)suunnitelmassa on esitettävä lisäksi seuraavat asiat:

- Ulkonäköä koskevat periaatteet voidaan esittää kuvallisesti (esim. kuvan 30 mukainen pysty-lomalaudoituksen näköinen vaalea seinä, jossa tummat seinäelementtejä korkeammat pilarit n. 4 m välein, sokkeli tumma betonin näköinen).
- Vaaditaanko tietty materiaali (materiaaleja ei pitäisi turhaan rajoittaa. Joskus rakenne voidaan tehdä maalatusta laudasta, muovitetusta teräksestä tai muovista ilman, että tiellä liikkuja pystyy arvioimaan materiaalia).
- Esimerkkejä rakenneratkaisuista, joiden kestoikä oletetaan normaalia lyhyemmäksi, sekä niihin liittyvät arvonmuutosperusteet.

Liik
enne
vira
sto

ISSN-L 1798-663X

ISSN 1798-6648

ISBN 978-952-255-564-9

www.liikennevirasto.fi